

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-100805

(43)Date of publication of application : 05.04.2002

---

(51)Int.Cl.

H01L 33/00

H01L 21/205

---

(21)Application number : 2001-200183

(71)Applicant : SONY CORP

(22)Date of filing : 29.06.2001

(72)Inventor : OKUYAMA HIROYUKI

DOI MASATO

BIWA TSUYOSHI

OHATA TOYOJI

KIKUTANI TOMOYUKI

---

(30)Priority

Priority number : 2000218034 Priority date : 18.07.2000 Priority country : JP

2000217663 18.07.2000

2000217508 18.07.2000 JP

2000217799 18.07.2000

2000218101 18.07.2000 JP

JP

JP

---

(54) SEMICONDUCTOR LIGHT-EMITTING ELEMENT AND METHOD FOR  
MANUFACTURING THE SEMICONDUCTOR LIGHT-EMITTING ELEMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a semiconductor light-emitting element, which can be manufactured with superior crystallinity, while penetrating dislocation, etc., from a substrate side are restrained without increasing the number of

**BEST AVAILABLE COPY**



manufacturing processes, and at the same time, enables micronization of a chip structure.

SOLUTION: A crystal layer, having an oblique crystal face (e.g., an S plane) which is slanted to a main surface of a substrate, is formed on the substrate. A first conductivity-type layer, an active layer and a second conductivity-type layer, which are stretched on a surface which is parallel with the oblique crystal plane, are formed on the crystal layer. At this point, a reflecting surface, which is stretched on the surface parallel to the oblique crystal plane, may be formed. The crystal layer, having the oblique crystal plane which is slanted with respect to the main surface of the substrate, is superior in crystallinity. Since the crystal plane is slanted, penetrating dislocation is prevented, and micronization of an element and isolation between elements are facilitated.

---

#### LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 19.03.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2002-100805  
(P2002-100805A)

(43) 公開日 平成14年4月5日 (2002.4.5)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームコード*(参考)
H 0 1 L 33/00		H 0 1 L 33/00	C 5 F 0 4 1
21/205		21/205	5 F 0 4 5

審査請求 未請求 請求項の数74 O L (全 48 頁)

(21) 出願番号	特願2001-200183(P2001-200183)
(22) 出願日	平成13年6月29日(2001.6.29)
(31) 優先権主張番号	特願2000-218034(P2000-218034)
(32) 優先日	平成12年7月18日(2000.7.18)
(33) 優先権主張国	日本(J P)
(31) 優先権主張番号	特願2000-217663(P2000-217663)
(32) 優先日	平成12年7月18日(2000.7.18)
(33) 優先権主張国	日本(J P)
(31) 優先権主張番号	特願2000-217508(P2000-217508)
(32) 優先日	平成12年7月18日(2000.7.18)
(33) 優先権主張国	日本(J P)

(71) 出願人	000002185 ソニー株式会社 東京都品川区北品川6丁目7番35号
(72) 発明者	奥山 浩之 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ ー株式会社内
(72) 発明者	土居 正人 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ ー株式会社内
(74) 代理人	100110434 弁理士 佐藤 勝

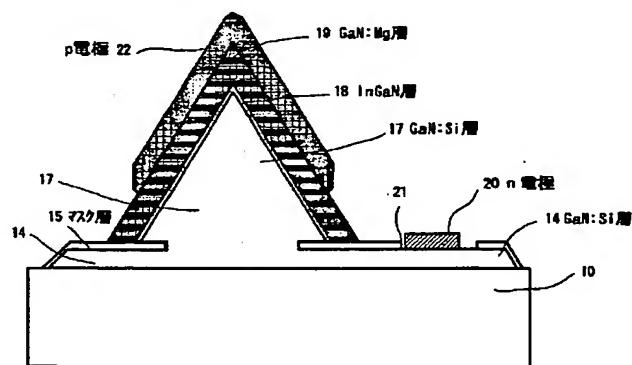
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体発光素子および半導体発光素子の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 基板側からの貫通転位などを抑制しつつ且つ工程の増加もなく良好な結晶性を以って製造可能であり、同時に、チップ構造の微細化も可能とする半導体発光素子を提供する。

【解決手段】 基板上に該基板の主面に対して傾斜した傾斜結晶面（例えばS面）を有する結晶層を形成し、傾斜結晶面に平行な面内に延在する第1導電型層、活性層、及び第2導電型層を結晶層に形成する。このとき、傾斜結晶面に平行な面内に延在する反射面を形成してもよい。基板の主面に対して傾斜した傾斜結晶面を有する結晶層は結晶性が良好であり、また傾斜していることから、貫通転位を防止し素子の微細化や素子の間を分離するのも容易である。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板上に該基板の主面に対して傾斜した傾斜結晶面を有する結晶層を形成し、前記傾斜結晶面に平行な面内に延在する第 1 導電型層、活性層、及び第 2 導電型層を前記結晶層に形成してなることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 2】 前記結晶層はウルツ鉱型の結晶構造を有することを特徴とする請求項 1 記載の半導体発光素子。

【請求項 3】 前記結晶層は窒化物半導体からなることを特徴とする請求項 1 記載の半導体発光素子。

【請求項 4】 前記結晶層は下地成長層を介して前記基板上に選択成長により設けられることを特徴とする請求項 1 記載の半導体発光素子。

【請求項 5】 前記選択成長は前記下地成長層を選択的に除去することを利用して行われることを特徴とする請求項 4 記載の半導体発光素子。

【請求項 6】 前記選択成長は選択的に形成されたマスク層の開口部を利用して行われることを特徴とする請求項 4 記載の半導体発光素子。

【請求項 7】 前記結晶層は前記マスク層の開口部よりも横方向に広がって選択成長したものであることを特徴とする請求項 6 記載の半導体発光素子。

【請求項 8】 前記基板の主面は C 面であることを特徴とする請求項 1 記載の半導体発光素子。

【請求項 9】 前記傾斜結晶面は S 面及び (11-2) 面の少なくとも一方を含むことを特徴とする請求項 1 記載の半導体発光素子。

【請求項 10】 前記傾斜結晶面のみに電流注入されることを特徴とする請求項 1 記載の半導体発光素子。

【請求項 11】 前記活性層は InGa<sub>x</sub>N<sub>1-x</sub>を用いて構成されることを特徴とする請求項 1 記載の半導体発光素子。

【請求項 12】 前記傾斜結晶面は六面ではほぼ対称となるように配設されることを特徴とする請求項 1 記載の半導体発光素子。

【請求項 13】 前記結晶層は該結晶層の基板主面側と反対側の略中心部に C 面からなる平坦面を有することを特徴とする請求項 1 記載の半導体発光素子。

【請求項 14】 基板上に該基板の主面に対して傾斜した傾斜結晶面を有する結晶層を形成し、前記傾斜結晶面に平行な面内に延在する第 1 導電型層、活性層、及び第 2 導電型層を前記結晶層に形成してなる構成を有する半導体発光素子を並べ、信号に応じて各素子が発光するように構成されてなることを特徴とする画像表示装置。

【請求項 15】 基板上に該基板の主面に対して傾斜した傾斜結晶面を有する結晶層を形成し、前記傾斜結晶面に平行な面内に延在する第 1 導電型層、活性層、及び第 2 導電型層を前記結晶層に形成してなる構成を有する半導体発光素子を並べ、信号に応じて各素子が発光するように構成されてなることを特徴とする照明装置。

【請求項 16】 基板上に開口部を有するマスク層もしくは結晶種層を形成し、該マスク層の開口部もしくは前記結晶種層から該基板の主面に対して傾斜した傾斜結晶面を有する結晶層を選択的に形成し、前記傾斜結晶面に平行な面内に延在する第 1 導電型層、活性層、及び第 2 導電型層を前記結晶層に形成することを特徴とする半導体発光素子の製造方法。

【請求項 17】 前記基板の主面は C 面であることを特徴とする請求項 16 記載の半導体発光素子の製造方法。

10 【請求項 18】 前記基板上に複数の半導体発光素子を形成した後、各半導体発光素子毎に分離することを特徴とする請求項 16 記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項 19】 分離した各半導体発光素子の裏面に一方の電極を形成することを特徴とする請求項 18 記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項 20】 基板上に該基板の主面に対して傾斜した S 面または該 S 面に実質的に等価な面を有する結晶層を形成し、該 S 面または該 S 面に実質的に等価な面に平行な面内に延在する第 1 導電型層、活性層、及び第 2 導電型層を前記結晶層に形成してなることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 21】 前記結晶層はウルツ鉱型の結晶構造を有することを特徴とする請求項 20 記載の半導体発光素子。

【請求項 22】 前記結晶層は窒化物半導体からなることを特徴とする請求項 20 記載の半導体発光素子。

【請求項 23】 前記結晶層は下地成長層を介して前記基板上に選択成長により設けられることを特徴とする請求項 20 記載の半導体発光素子。

30 【請求項 24】 前記選択成長は前記下地成長層を選択的に除去することを利用して行われることを特徴とする請求項 23 記載の半導体発光素子。

【請求項 25】 前記選択成長は選択的に形成されたマスク層の開口部を利用して行われることを特徴とする請求項 23 記載の半導体発光素子。

【請求項 26】 前記結晶層は前記マスク層の開口部よりも横方向に広がって選択成長したものであることを特徴とする請求項 25 記載の半導体発光素子。

40 【請求項 27】 前記基板の主面は C+面であることを特徴とする請求項 20 記載の半導体発光素子。

【請求項 28】 前記基板上に形成された前記 S 面または該 S 面に実質的に等価な面が前記結晶層の一部である場合に、前記活性層への電流注入は前記 S 面についてだけなされることを特徴とする請求項 20 記載の半導体発光素子。

【請求項 29】 基板上に形成した S 面または該 S 面に実質的に等価な面が略六角錐形状の斜面をそれぞれ構成して結晶層を形成し、各 S 面または該 S 面に実質的に等価な面に平行な面内に延在する第 1 導電型層、活性層、及び第 2 導電型層を前記結晶層に形成してなることを特

微とする半導体発光素子。

【請求項 30】 前記活性層への電流注入は頂点近傍側で周囲側よりも低密度となることを特徴とする請求項 29 記載の半導体発光素子。

【請求項 31】 基板上に形成した S 面または該 S 面に実質的に等価な面が略六角錐台形状の斜面をそれぞれ構成すると共に前記基板上に形成した C 面または該 C 面に実質的に等価な面が前記略六角錐台形状の上平面部を構成する結晶層を形成し、各 S 面または該 S 面に実質的に等価な面に平行な面および前記 C 面または該 C 面に実質的に等価な面に平行な面内に延在する第 1 導電型層、活性層、及び第 2 導電型層を前記結晶層に形成してなることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 32】 基板上に該基板の主面に対して傾斜した S 面または該 S 面に実質的に等価な面を有する結晶層を形成し、該 S 面または該 S 面に実質的に等価な面に平行な面内に延在する第 1 導電型層、活性層、及び第 2 導電型層を前記結晶層に形成して構成された半導体発光素子を並べ、信号に応じて各素子が発光するように構成されてなることを特徴とする画像表示装置。

【請求項 33】 基板上に該基板の主面に対して傾斜した S 面または該 S 面に実質的に等価な面を有する結晶層を形成し、該 S 面または該 S 面に実質的に等価な面に平行な面内に延在する第 1 導電型層、活性層、及び第 2 導電型層を前記結晶層に形成して構成された半導体発光素子を複数個配列したことを特徴とする照明装置。

【請求項 34】 基板上に所要の開口部を有するマスク層を形成し、該マスク層の開口部に S 面または該 S 面に実質的に等価な面を有する結晶層を選択的に形成し、該 S 面または該 S 面に実質的に等価な面に平行な面内に延在する第 1 導電型層、活性層、及び第 2 導電型層を前記結晶層に形成することを特徴とする半導体発光素子の製造方法。

【請求項 35】 前記基板の主面は C 面であることを特徴とする請求項 34 記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項 36】 前記基板上に複数の半導体発光素子を形成した後、各半導体発光素子毎に分離することを特徴とする請求項 34 記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項 37】 分離した各半導体発光素子の裏面に一方の電極を形成することを特徴とする請求項 36 記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項 38】 選択成長により形成され成長基板の基板主面に対して傾斜してなる傾斜結晶面を有する結晶成長層と、前記結晶成長層に形成され所要の電流が注入されて光を発生させる活性層とを有し、前記活性層から素子外に出力される光の一部は前記傾斜結晶面にほぼ平行に延在された反射面で反射したものであることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 39】 前記活性層はウルツ鉱型の結晶構造を

有する化合物半導体からなることを特徴とする請求項 38 記載の半導体発光素子。

【請求項 40】 前記活性層は前記傾斜結晶面にほぼ平行に延在されてなることを特徴とする請求項 38 記載の半導体発光素子。

【請求項 41】 前記活性層は S 面または S 面に等価な面にほぼ平行に延在されることを特徴とする請求項 38 記載の半導体発光素子。

【請求項 42】 前記傾斜結晶面に平行に延在された反射面は  $180^\circ$  よりも小さな角度で対向する少なくとも 2 面以上の反射面を有することを特徴とする請求項 38 記載の半導体発光素子。

【請求項 43】 前記活性層は窒化物半導体からなることを特徴とする請求項 38 記載の半導体発光素子。

【請求項 44】 前記活性層は窒化物ガリウム系半導体からなることを特徴とする請求項 43 記載の半導体発光素子。

【請求項 45】 前記活性層は In を含むことを特徴とする請求項 38 記載の半導体発光素子。

【請求項 46】 前記活性層は各素子毎に分離されていることを特徴とする請求項 38 記載の半導体発光素子。

【請求項 47】 前記選択成長は前記成長基板上に形成された下地成長層から行われることを特徴とする請求項 38 記載の半導体発光素子。

【請求項 48】 成長基板上に選択成長によって該成長基板の主面に対して傾斜した傾斜結晶面を有する結晶成長層を形成し、前記結晶成長層の前記傾斜結晶面に平行に延在される活性層及び反射面を形成することを特徴とする半導体発光素子の製造方法。

【請求項 49】 基板上に第 1 導電型の第 1 成長層を形成し、該第 1 成長層上にマスク層を形成し、該マスク層に設けられた開口部から第 1 導電型の第 2 成長層を選択成長させて形成し、該第 2 成長層の結晶面に平行な面内に延在する第 1 導電型クラッド層、活性層、及び第 2 導電型クラッド層の一部または全部を前記開口部の周囲のマスク層上まで延在されるように形成してなることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 50】 前記第 2 成長層の結晶面は基板の主面に対して傾斜した傾斜面であることを特徴とする請求項 49 記載の半導体発光素子。

【請求項 51】 前記第 1 成長層および第 2 成長層はウルツ鉱型の結晶構造を有することを特徴とする請求項 49 記載の半導体発光素子。

【請求項 52】 前記第 2 成長層は窒化物半導体からなることを特徴とする請求項 49 記載の半導体発光素子。

【請求項 53】 前記基板の主面は C 面であることを特徴とする請求項 49 記載の半導体発光素子。

【請求項 54】 基板上に第 1 導電型の第 1 成長層を形成し、該第 1 成長層上にマスク層を形成し、該マスク層に設けられた開口部から第 1 導電型の第 2 成長層を選択

成長させて形成し、該第2成長層の結晶面に平行な面内に延在する第1導電型クラッド層、活性層、及び第2導電型クラッド層によって前記第2成長層の全体が被覆されるように前記第1導電型クラッド層、前記活性層、及び前記第2導電型クラッド層を形成してなることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項55】 基板上に第1導電型の第1成長層を形成し、該第1成長層上にマスク層を形成し、該マスク層に設けられた開口部から第1導電型の第2成長層を選択成長させて形成し、該第2成長層の結晶面に平行な面内に延在する第1導電型クラッド層、活性層、及び第2導電型クラッド層の各層端部が前記マスク層に直接接するように前記第1導電型クラッド層、前記活性層、及び前記第2導電型クラッド層を形成してなることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項56】 基板上に第1導電型の第1成長層を形成し、該第1成長層上にマスク層を形成し、該マスク層に設けられた開口部から第1導電型の第2成長層を選択成長させて形成し、該第2成長層の結晶面に平行な面内に延在する第1導電型クラッド層、活性層、及び第2導電型クラッド層の一部または全部を前記開口部の周囲のマスク層上まで延在されるように形成してなる構造を有する半導体素子を並べ、信号に応じて各素子が発光するように構成されてなることを特徴とする画像表示装置。

【請求項57】 基板上に第1導電型の第1成長層を形成し、該第1成長層上にマスク層を形成し、該マスク層に設けられた開口部から第1導電型の第2成長層を選択成長させて形成し、該第2成長層の結晶面に平行な面内に延在する第1導電型クラッド層、活性層、及び第2導電型クラッド層の一部または全部を前記開口部の周囲のマスク層上まで延在されるように形成してなる構造を有する半導体素子を並べ、実質的に同じ信号が供給されて各素子が一様に発光するように構成されてなることを特徴とする照明装置。

【請求項58】 基板上に積層した第1成長層上に開口部を有するマスク層を形成し、該マスク層の開口部から第2成長層を選択的に形成し、前記第2成長層の結晶面に平行な面内に延在され且つ前記開口部の周囲のマスク層上まで延在されるように第1導電型クラッド層、活性層、及び第2導電型クラッド層を形成することを特徴とする半導体発光素子の製造方法。

【請求項59】 前記第2成長層の結晶面は基板主面に対して傾斜した傾斜面であることを特徴とする請求項58記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項60】 第1導電層と第2導電層に挟まれ、選択成長により成長基板の主面に平行でなく延在される活性層を有し、前記活性層の面積は前記成長基板上の前記選択成長の際に用いた窓領域の面積より大きくされ、若しくは前記選択成長により結晶成長した結晶成長層を前記成長基板の法線方向に投影した場合の写像面積よりも

大きくされることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項61】 前記活性層はウルツ鉱型の結晶構造を有する化合物半導体からなることを特徴とする請求項60記載の半導体発光素子。

【請求項62】 前記成長基板の主面に平行でなく延在される前記活性層は、S面またはS面に等価な面に平行に延在されることを特徴とする請求項61記載の半導体発光素子。

【請求項63】 前記S面またはS面に等価な面に平行に延在される前記活性層は前記窓領域よりも横方向に広がって形成されていることを特徴とする請求項62記載の半導体発光素子。

【請求項64】 前記成長基板の主面に平行でなく延在される前記活性層にのみ電流の注入が可能である一対の電極が前記第1導電層と前記第2導電層にそれぞれ接続して形成されてなることを特徴とする請求項60記載の半導体発光素子。

【請求項65】 前記活性層は窒化物半導体からなることを特徴とする請求項60記載の半導体発光素子。

【請求項66】 前記活性層は窒化物ガリウム系半導体からなることを特徴とする請求項65記載の半導体発光素子。

【請求項67】 前記活性層はInを含むことを特徴とする請求項60記載の半導体発光素子。

【請求項68】 前記活性層は各素子毎に分離されていることを特徴とする請求項60記載の半導体発光素子。

【請求項69】 前記選択成長は前記成長基板上に形成された下地成長層から行われることを特徴とする請求項60記載の半導体発光素子。

【請求項70】 第1導電層及び第2導電層に挟まれ、選択成長により成長基板の主面に平行でなく延在され且つその延在される面内に屈曲部を含む活性層が形成されてなることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項71】 第1導電層と第2導電層に挟まれ、選択成長により成長基板の主面に平行でなく延在される活性層を有し、前記活性層の面積は、前記選択成長により結晶成長した結晶成長層を前記成長基板の法線方向に投影した場合の写像面積と少なくとも片側の前記導電層とその電極が接する面積の和よりも大きくもしくは同等であることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項72】 成長基板上に下地成長層を形成し、前記下地成長層上に窓領域を有するマスク層を形成し、前記マスク層からの選択成長により前記成長基板の法線方向に投影した場合の写像面積よりも大きな結晶表面を有する結晶成長層を形成し、前記結晶成長層の前記結晶表面に第1導電層、活性層及び第2導電層を形成することを特徴とする半導体発光素子の製造方法。

【請求項73】 上記基板を剥離した面に電極が形成されていることを特徴とする請求項1、20、38、49、60のいずれか1項記載の半導体発光素子。

【請求項74】 基板上に開口部を有するマスク層もしくは結晶種層を形成し、該マスク層の開口部もしくは前記結晶種層から該基板の主面に対して傾斜した傾斜結晶面を有する結晶層を選択的に形成し、前記傾斜結晶面に平行な面内に延在する第1導電型層、活性層、及び第2導電型層を前記結晶層に形成した後、第2の基板上に形成された樹脂層に埋め込み、上記基板をレーザアブレーションにより除去し、上記結晶種層及びマスク層をエッチングにより各半導体発光素子毎に分離し、上記分離された結晶種層の基板剥離面に電極を形成することを特徴とする半導体発光素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は第1導電型層、活性層、第2導電型層を積層させたダブルヘテロ構造を有する半導体発光素子及びその製造方法に関し、特に、窒化物半導体からなる結晶層を利用して発光領域を構成する半導体発光素子及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 半導体発光素子として、これまでサファイア基板上に全面に低温バッファ層、SiをドーブしたGaNからなるn側コンタクト層を形成し、その上にSiをドーブしたGaNからなるn側クラッド層、SiをドーブしたInGaNからなる活性層、MgをドーブしたAlGaNからなるp側クラッド層と、MgをドーブしたGaNよりなるp側コンタクト層などを積層した素子が知られている。このような構造を有し市販されている製品として、450nmから530nmを含む青色、緑色LED (Light Emitting Diode) が量産されている。

【0003】 また、窒化ガリウムを成長させようとする場合、サファイア基板が使用されることが多く行われている。サファイア基板から窒化ガリウムを結晶成長させる場合、通常はC面を主面とするサファイア基板が使用され、主面上に形成される窒化ガリウム層の表面もC面を有し、必然的に基板主面と平行な面に形成される活性層やそれを挟むクラッド層もC面に平行な面に延在される。このように基板主面を基準に各結晶層を積層した構造の半導体発光素子では、基板主面の平滑性を生かして電極形成などに必要な平滑性が得られている。

【0004】 ところが、サファイア基板と成長させる窒化ガリウムの間の格子不整合から、結晶内に高密度の転位が内在することがある。このため基板上に低温バッファ層を形成する技術は、成長させる結晶に発生する欠陥を抑制するための1つの手段であり、また、結晶欠陥を低減する目的で特開平10-312971号公報では、横方向への選択結晶成長 (ELO: epitaxial lateral overgrowth) を組合わせている。

【0005】 また、特開平10-321910号公報は、基板主面上に垂直な(10-10)または(1-1

00)m面からなる側面を有する六角柱状構造が形成され、その六角柱状構造部分に基板主面に対して垂直に延在する発光領域が形成された半導体発光素子を開示する。基板主面上に垂直に延在する活性層などを形成することで、基板との格子不整合による欠陥や転位を抑制でき、熱膨張係数の違いによる歪みの悪影響も少なくできる。

【0006】 さらに、特開平8-255929号公報は、基板上に窒化ガリウム系化合物半導体からなる一方の導電型層を成膜し、その一方の導電型層の一部をマスクで覆って、覆われていない部分に選択成長によって他方の導電型層を含む窒化ガリウム系化合物半導体層を形成してからp電極及びn電極を形成する製造方法を開示する。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】 ところが、特開平10-321910号公報に記載されるように基板主面上に垂直に延在する六角柱状構造を形成する技術では、HVPE (Hydride Vapor Phase Epitaxy) で成膜した後、(10-10)または(1-101)m面からなる側面が得られるようにドライエッチングを施している。ところが、ドライエッチングを施す場合には、一般的に結晶面に対する損傷を避けることができず、従って基板側からの貫通転位などを抑制しつつも逆にドライエッチングにより結晶の特性が劣化する。また、ドライエッチングを施す場合では、その分だけ工程も増加してしまう。

【0008】 サファイア基板のC+面上に選択成長させた場合には、(1-101)面すなわちS面で囲まれた先端のとがった形状の結晶層が形成される (たとえば、特許第2830814号の明細書段落0009参照) が、電極形成に必要な平坦面が得られていないものとされ、積極的に電子デバイスや発光デバイスとして利用されている例はなく、さらなる選択成長から結晶構造の下地層として利用されているに過ぎない。

【0009】 また、基板主面に平行な面を形成する素子は、結晶性を良好に維持するために平坦な面の作成が重要となり、結果として電極などが平面的に広がった素子構造と有する傾向がある。したがって各素子の間を分離する場合には、たとえばチップをダイサーなどを用いて切り出さなければならないため、多大な労力がかかるとともに平面的に広がった電極などを避けながら微小に切り出すことは極端に難しくなっている。また、サファイア基板およびGaNなどの窒化物は硬度が高く切り出しが難しいことから、ダイシングの際に少なくとも20μm程度の切りしろが必要になり、微小なチップの切り出しがさらに困難となっている。また、基板主面をC+面として、基板主面に平行な面に窒化物ガリウム系の活性層を形成する発光素子においては、C+面では窒素原子に対するボンドの数がGaから1つしか出ていないため、C+面の結晶面から窒素原子は解離しやすく、実効



的な $V/I$ 比が大きくてできないでいる。そのため、発光素子を構成するための結晶質が高性能化を図るには十分でないといった問題が生じている。

【0010】特開平8-255929号公報記載の技術では、選択成長を用いることで反応性イオンエッチングなどエッチングを使用しなくとも良いという利点があるが、 $n$ 電極を形成するために、マスク層を除去しており、電極近傍での段差が拡大してしまい精度良く電極を形成するのが難しいという問題が生ずる。また、特開平8-255929号公報に開示される発光素子のよう

に、基板の主面に平行な活性層を形成する場合には、その端部が空气中に露出することで活性層が酸化してしまうことがあり、活性層が劣化するという問題も生ずる。

【0011】一方、例えばプロジェクション型ディスプレイ光源用途など大型ディスプレイ光源として、LED素子を応用することが考えられており、LED素子の高輝度化、高信頼性、および低価格化を図ることは重要な開発項目となっている。LED素子の高輝度化に支配的な因子は活性層の結晶性などに依存した内部量子効率と、光に変換されてから素子外部に発光する割合である光取り出し効率の2つである。

【0012】ここで、発光ダイオードの典型的な発光領域の要部構造を図88に示す。例えばInGa $N$ などにより形成された活性層400を挟んで第1導電層401と第2導電層402が積層するように形成され、第2導電層402の活性層400と反対側には電極としても機能する反射膜403が形成され、反射膜403と第2導電層402の界面が反射面404とされている。活性層400で発生した光の一部は直接第1導電層401の光取り出し窓405から射出するが、第2導電層402側に出た光の一部は反射面404で反射して、第1導電層401の光取り出し窓405側へ向かう。

【0013】ところが、上述の如き通常の発光ダイオードの構造では活性層400が効率よく発光したとしても、素子と外部、素子と透明基板、あるいは透明基板と外部の界面において光が全反射することで光が外に取り出せないという問題が生じている。すなわち、界面を形成する2つの材料層の屈折率に依存して、その界面における臨界角が決まり、臨界角よりも小さな角度で界面に入射した光は当該界面で全反射してしまう。面発光する発光ダイオードにおいて、前述の図88のように反射面404が光取り出し窓405と平行した面同士の構成をとる場合には、臨界角より小さな入射角で全反射した光は、反射面404が光取り出し窓405の間で全反射を続けることになり、有効な出力として取り出すことができない。

【0014】光取り出し効率を改善するために、素子に光路を変換できるような凸部または斜面を形成して反射面とし、光を効率よく外部に取り出すことも考えられ

る。ただし、青あるいは緑色LEDの材料として用いられているGa $N$ 系半導体の加工はかなり困難であり、高度な形状を微細な領域に形成することができないのが現状である。

【0015】また、図89は面発光型の半導体発光素子の一例の断面図である。成長基板500としてのサファイヤ基板が使用され、その成長基板500上に例えば窒化ガリウム系半導体層からなる第1導電層501が成長され、その第1導電層501上に窒化ガリウム系半導体層からなる活性層502と第2導電層503が基板主面に平行に積層される。これら活性層502と第2導電層503はその一部が削られて開口部506が底部に第1導電層501が臨むように形成される。この開口部506には第1電極504が第1導電層501と接続するように形成され、第2導電層503上には当該第2導電層503と接続する第2電極505が形成される。

【0016】大型ディスプレイ用の光源を製造するためには、簡単には高輝度化に応じて素子サイズを大きくすることが考えられる。しかしながら、光学設計の要請から発光領域のサイズには限界があり、高輝度で大きな発光領域を有する素子は製造するのが困難である。また、素子内部に必要な光取り出し窓と電流を効率よく注入するための電極配置などから、素子内の活性領域にも制限がある。したがって実デバイスにおいては、規格値以上の電流注入などにより高輝度化に対応するのが現状であり、そのように電流注入量を高くした場合では素子の信頼性が低下してしまうと言った問題が発生する。

【0017】また、発光ダイオードの素子サイズを小さくすることは、収率改善による低価格化が期待できるため、特に発光ダイオードを画素ごとに配置するディスプレイに応用する場合などにその必要性が高いものとなっている。ただし素子サイズを小さくすることは単位面積あたりの負荷を大きくすることから、前述の発光素子の高輝度化および高信頼性に対して通常相反することになる。

【0018】さらに、素子サイズを数十ミクロン程度かそれ以下にする必要がある場合、図89に示した電極504、505などの電極領域や素子分離溝の形成領域が、素子の活性層を形成できる領域を大きく制限してしまう。特に導電層503、501と電極505、504とが接触する領域は、抵抗が高くならないように、なるべく大きくする必要がある。ところが、電極のサイズを大きくした場合では、逆に面発光により光を導出できる領域が狭くなることになり、それだけ発光の輝度が低下してしまうことになる。

【0019】そこで本発明は上述の技術的な課題に鑑み、基板側からの貫通転位などを抑制しつつ且つ工程の増加もなく良好な結晶性を以って製造可能であり、同時に、チップ構造の微細化も可能とする半導体発光素子の提供を目的とする。また本発明の他の目的は結晶性も良



好で工程の増加を招かずに素子の微細化も可能な半導体発光素子の製造方法の提供にある。また、本発明は、光を効率よく外部に取り出すための形状を微細な領域に良好な結晶性を以って形成可能とし、光取り出し効率を改善して輝度の高い半導体発光素子やその半導体発光素子の製造方法を提供することを目的とする。

【0020】さらに、本発明は、基板側からの貫通転位などを抑制しつつ且つ工程の増加もなく良好な結晶性を以って製造可能であり、同時に、電極近傍での段差の緩和を図り活性層の劣化も防止する構造の半導体発光素子の提供を目的とする。また、結晶性も良好で工程の増加を招かずに電極近傍での段差の緩和を図り活性層の劣化も防止することのできる半導体発光素子の製造方法の提供を他の目的とする。さらにまた、本発明は、発光領域となる活性層になるべく負荷をかけずに素子の信頼性を保ち、また、光取り出し効率を改善して輝度の高い半導体発光素子を提供することを目的とする。

【0021】

【課題を解決するための手段】本願発明に係る1番目の半導体発光素子は、基板上に該基板の主面に対して傾斜した傾斜結晶面を有する結晶層を形成し、前記傾斜結晶面に平行な面内に延在する第1導電型層、活性層、及び第2導電型層を前記結晶層に形成してなることを特徴とする。

【0022】傾斜結晶面を有する結晶層は、一例として、ウルツ鉱型の結晶構造を有し、窒化物半導体を用いて構成することができ、更にマスク層に設けられた開口部や基板上に配設された下地成長層からの選択成長によって形成することが可能である。この場合において、基板主面はC面に設定することができる。

【0023】また、本発明においては、上述の半導体発光素子が複数個配列された構造から、各半導体発光素子が画素を構成する画像形成装置や照明装置を構成することができる。

【0024】また、本発明の半導体発光素子の製造方法は、基板上に開口部を有するマスク層もしくは結晶種層を形成し、該マスク層の開口部もしくは前記結晶種層から該基板の主面に対して傾斜した傾斜結晶面を有する結晶層を選択的に形成し、前記傾斜結晶面に平行な面内に延在する第1導電型層、活性層、及び第2導電型層を前記結晶層に形成することを特徴とする。

【0025】基板の主面に対して傾斜した傾斜結晶面を有する結晶層を形成することで、基板からの貫通転位を押さえることも可能であり、また、基板の主面に対して傾斜した傾斜結晶面は選択成長によって現れ易い面であることから、エッチングなどの工程増加を招かず良好な結晶を得ることができる。

【0026】特に結晶層が窒化ガリウム(GaN)で構成される場合、C+面を用いて結晶層を形成する場合に比べて、その窒素原子からガリウム原子へのボンドの数

が増大することになり、実効的な $V/I$ 比を高くすることが可能である。したがって良質な結晶部分に活性層を形成することができ、形成される半導体発光素子の高性能化を図ることもできる。

【0027】本願発明に係る2番目の半導体発光素子は、基板上に該基板の主面に対して傾斜したS面または該S面に実質的に等価な面を有する結晶層を形成し、該S面または該S面に実質的に等価な面に平行な面内に延在する第1導電型層、活性層、及び第2導電型層を前記結晶層に形成することを特徴とする。

【0028】また、S面または該S面に実質的に等価な面は略六角錐形状の斜面をそれぞれ構成して結晶層を形成する構成としても良く、さらにC+面または該C+面に実質的に等価な面が前記略六角錐台形状の上平面部を構成するように結晶層を形成しても良い。この場合において、基板主面はC+面に設定することができる。

【0029】また、本発明においては、上述の半導体発光素子は複数個配列された構造から、各半導体発光素子が画素を構成する画像形成装置や照明装置を構成することができる。

【0030】また、本発明の半導体発光素子の製造方法は、基板上に所要の開口部を有するマスク層を形成し、該マスク層の開口部にS面または該S面に実質的に等価な面を有する結晶層を選択的に形成し、該S面または該S面に実質的に等価な面に平行な面内に延在する第1導電型層、活性層、及び第2導電型層を前記結晶層に形成することを特徴とする。

【0031】電極形成などの観点から、選択的な結晶成長の未熟な段階として把握されているS面を、発想を変え、そのままS面を利用し第1導電型層、活性層、及び第2導電型層がS面または該S面に実質的に等価な面に平行に延在される形状で素子を形成する。S面等は基板に対して傾斜していることから、横方向成長により基板からの貫通転位を押さえることも可能であり、S面は選択成長によって現れ易い面であることから、エッチングなどの工程増加を招かず良好な結晶を得ることができる。

【0032】また、S面上では例えば結晶層が窒化ガリウム(GaN)で構成される場合、その窒素原子からガリウム原子へのボンドの数がC+面上に比べて増大することになり、実効的な $V/I$ 比を高くすることが可能であって、形成される半導体発光素子の高性能化を図ることもできる。

【0033】本願発明に係る3番目の半導体発光素子は、選択成長により形成され成長基板の基板主面に対して傾斜してなる傾斜結晶面を有する結晶成長層と、前記結晶成長層に形成され所要の電流が注入されて光を発生させる活性層とを有し、前記活性層から素子外に出力される光の一部は前記傾斜結晶面にほぼ平行に延在された反射面で反射したものであることを特徴とする。

【0034】また、本発明の半導体発光素子の製造方法は、成長基板上に選択成長によって該成長基板の主面に対して傾斜した傾斜結晶面を有する結晶成長層を形成し、その前記傾斜結晶面にほぼ平行に延在される活性層及び反射面を形成することを特徴とする。

【0035】活性層で発生した光は、成長基板の主面に対して傾斜した傾斜結晶層にほぼ平行に延在された反射面で反射する。反射面は傾斜結晶層にほぼ平行であることから、成長基板の主面に対して傾斜しており、成長基板の主面にほぼ平行な面を光取り出し窓とすることで、一度光取り出し部分で全反射した場合でも傾斜結晶層を進むうちに反射面で反射し、光路が変換されて光をより外部に取り出し易くする。選択成長を利用することで、成長基板に対して傾斜した傾斜結晶層は自己形成的に形成され、特にエッチングなどの微細加工は不要である。

【0036】本願発明に係る4番目の半導体発光素子は、基板上に第1導電型の第1成長層を形成し、該第1成長層上にマスク層を形成し、該マスク層に設けられた開口部から第1導電型の第2成長層を選択成長させて形成し、該第2成長層の結晶面に平行な面内に延在する第1導電型クラッド層、活性層、及び第2導電型クラッド層の一部または全部を前記開口部の周囲のマスク層上まで延在されるように形成してなることを特徴とする。

【0037】前記第1成長層及び第2成長層は、一例として、ウルツ鉱型の結晶構造を有し、窒化物半導体を用いて構成することができる。また、前記第2成長層の結晶面は基板の主面に対して傾斜した傾斜面とすることができる。この場合において、基板主面はC面に設定することができる。

【0038】上記4番目の半導体発光素子の他の構成としては、基板上に第1導電型の第1成長層を形成し、該第1成長層上にマスク層を形成し、該マスク層に設けられた開口部から第1導電型の第2成長層を選択成長させて形成し、該第2成長層の結晶面に平行な面内に延在する第1導電型クラッド層、活性層、及び第2導電型クラッド層によって前記第2成長層の全体が被覆されるように前記第1導電型クラッド層、前記活性層、及び前記第2導電型クラッド層を形成してなることを特徴とする。

【0039】上記4番目の半導体発光素子の更に他の構成としては、基板上に第1導電型の第1成長層を形成し、該第1成長層上にマスク層を形成し、該マスク層に設けられた開口部から第1導電型の第2成長層を選択成長させて形成し、該第2成長層の結晶面に平行な面内に延在する第1導電型クラッド層、活性層、及び第2導電型クラッド層の各層端部が前記マスク層に直接接するように前記第1導電型クラッド層、前記活性層、及び前記第2導電型クラッド層を形成してなることを特徴とする。

【0040】また、本発明においては、上述の半導体発光素子が複数個配列された構造から、各半導体発光素子

が画素を構成する画像形成装置や照明装置を構成することができる。

【0041】また、本発明の半導体発光素子の製造方法は、基板上に積層した第1成長層上に開口部を有するマスク層を形成し、該マスク層の開口部から第2成長層を選択的に形成し、前記第2成長層の結晶面に平行な面内に延在され且つ前記開口部の周囲のマスク層上まで延在されるように第1導電型クラッド層、活性層、及び第2導電型クラッド層を形成することを特徴とする。

【0042】第2成長層の結晶面に平行な面内に延在する第1導電型クラッド層、活性層、及び第2導電型クラッド層を開口部の周囲のマスク層上まで延在させることで、第1導電型クラッド層、活性層、及び第2導電型クラッド層からなる部分と基板や第1成長層との間にマスク層が存在することになり、開口部の周囲のマスク層の部分では段差が緩和されて、次に形成される電極等を微細加工する場合の精度を高くすることができる。また、第2成長層を選択成長させることで、基板の主面に対して傾斜した傾斜結晶面を容易に形成することができ、基板からの貫通転位を押さえ、エッチングなどの工程増加を招かず良好な結晶を得ることができる。

【0043】本願発明の5番目の半導体発光素子は、第1導電層と第2導電層に挟まれ、選択成長により成長基板の主面に平行でなく延在される活性層を有し、前記活性層の面積は前記成長基板上の前記選択成長の際に用いた窓領域の面積より大きくされ、若しくは前記選択成長により結晶成長した結晶成長層を前記成長基板の法線方向に投影した場合の写像面積よりも大きくされることを特徴とする。

【0044】また、本発明において、活性層の面積は、前記選択成長により結晶成長した結晶成長層を前記成長基板の法線方向に投影した場合の写像面積と少なくとも片側の前記導電層とその電極が接する面積の和よりも大きくもしくは同等とすることができる。

【0045】活性層は第1導電層と第2導電層に挟まれ、これら第1導電層と第2導電層を介して電流が注入されて発光する。そして、このように活性層の面積を成長基板上の選択成長の際に用いた窓領域の面積より大きくし、或いは選択成長した成長層の写像面積よりも大きくすることで、活性層に注入される電流の局所的な電流密度を下げる可以降低ことができる。また、活性層の面積は前記写像面積に電極の面積を加えたものよりも更に大きなサイズとすることも可能である。活性層の面積を大きくすることで活性層に注入すべき電流密度を下げる可以降低することができる。

【0046】

【発明の実施の形態】以下において、本発明を適用した半導体発光素子について図面を参照しながら詳細に説明する。

【0047】〔半導体発光素子1〕本発明の1番目の半

導体発光素子は、基板上に該基板の主面に対して傾斜した傾斜結晶面を有する結晶層を形成し、前記傾斜結晶面に平行な面内に延在する第1導電型層、活性層、及び第2導電型層を前記結晶層に形成してなることを特徴とする。

【0048】本発明に用いられる基板は、基板の主面に対して傾斜した傾斜結晶面を有する結晶層を形成し得るものであれば特に限定されず、種々のものを使用できる。例示すると、基板として用いることができるのは、サファイア ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、A面、R面、C面を含む。) SiC (6H、4H、3Cを含む。) GaN、Si、ZnS、ZnO、AlN、LiMgO、GaAs、MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>、InAlGaNなどからなる基板であり、好ましくはこれらの材料からなる六方晶系基板または立方晶系基板であり、より好ましくは六方晶系基板である。例えば、サファイア基板を用いる場合では、窒化ガリウム (GaN) 系化合物半導体の材料を成長させる場合に多く利用されているC面を主面としたサファイア基板を用いることができる。この場合の基板主面としてのC面は、5乃至6度の範囲で傾いた面方位を含むものである。基板自体は製品としての発光素子には含まれない構造も可能であり、製造の途中で素子部分を保持させるために使用され、完成前に取り外しされる構造であっても良い。

【0049】この基板上に形成される結晶層は基板の主面に対して傾斜した傾斜結晶面を有している。この結晶層は後述の基板の主面に対して傾斜した傾斜結晶面に平行な面に第1導電型層、活性層、及び第2導電型層からなる発光領域を形成可能な材料層であれば良く、特に限定されるものではないが、その中でもウルツ鉱型の結晶構造を有することが好ましい。このような結晶層としては、例えばIII族系化合物半導体やBeMgZnCdS系化合物半導体、BeMgZnCdO系化合物半導体を用いることができ、更には窒化ガリウム (GaN) 系化合物半導体、窒化アルミニウム (AlN) 系化合物半導体、窒化インジウム (InN) 系化合物半導体、窒化インジウムガリウム (InGaN) 系化合物半導体、窒化アルミニウムガリウム (AlGaN) 系化合物半導体を好ましくは形成することができ、特に窒化ガリウム系化合物半導体などの窒化物半導体が好ましい。なお、本発明において、InGaN、AlGaN、GaNなどは必ずしも、3元混晶のみ、2元混晶のみの窒化物半導体を指すのではなく、例えばInGaNでは、InGaNの作用を変化させない範囲での微量のAl、その他の不純物を含んでいても本発明の範囲であることはいうまでもない。また、S面や(11-22)面に実質的に等価な面とは、S面や(11-22)面に対してそれぞれ5乃至6度の範囲で傾いた面方位を含むものである。

【0050】この結晶層の成長方法としては、種々の気相成長法を挙げることができ、例えば有機金属化合物気

相成長法 (MOCVD (MOVPE) 法) や分子線エビタキシー法 (MBE法) などの気相成長法や、ハイドライド気相成長法 (HVPE法) などを用いることができる。その中でもMOCVD法によると、迅速に結晶性の良いものが得られる。MOCVD法では、GaソースとしてTMG (トリメチルガリウム)、TEG (トリエチルガリウム)、AlソースとしてはTMA (トリメチルアルミニウム)、TEA (トリエチルアルミニウム)、Inソースとしては、TMI (トリメチルインジウム)、TEI (トリエチルインジウム) などのアルキル金属化合物が多く使用され、窒素源としてはアンモニア、ヒドラジンなどのガスが使用される。また、不純物ソースとしてはSiであればシランガス、Geであればゲルマンガス、MgであればCp2Mg (シクロペンタジエニルマグネシウム)、ZnであればDEZ (ジエチルジニク) などのガスが使用される。一般的なMOVPE法では、これらのガスを例えば600°C以上に加熱された基板の表面に供給して、ガスを分解することにより、InAlGaN系化合物半導体をエビタキシャル成長させることができる。

【0051】結晶層を形成する前に、下地成長層を基板上に形成することが好ましい。この下地成長層は例えば窒化ガリウム層や窒化アルミニウム層からなり、下地成長層は低温バッファ層と高温バッファ層との組合せ或いはバッファ層と結晶種として機能する結晶種層との組合せからなる構造であっても良い。この下地成長層も結晶層と同様に、種々の気相成長法で形成することができ、例えば有機金属化合物気相成長法 (MOVPE法) や分子線エビタキシー法 (MBE法)、ハイドライド気相成長法 (HVPE法) などの気相成長法を用いることができる。結晶層の成長を低温バッファ層から始めるとマスク上にポリ結晶が析出しやすくなって、それが問題となる。そこで、結晶種層を含んでからその上に基板と異なる面を成長することで、さらに結晶性のよい結晶が成長できる。また、選択成長を用いて結晶成長を行うには結晶種層がないとバッファ層から形成する必要があるが、もしバッファ層から選択成長を行うと成長の阻害された成長しなくても良い部分に成長が起こりやすくなる。従って、結晶種層を用いることで、成長が必要な領域に選択性良く結晶を成長させることができることになる。バッファ層は基板と窒化物半導体の格子不整合を緩和するという目的もある。したがって、窒化物半導体と格子定数の近い基板、格子定数が一致した基板を用いる場合にはバッファ層が形成されない場合もある。たとえば、SiC上にはAlNを低温にしないでバッファ層をつけることもあり、Si基板上にはAlN、GaNをやはり低温にしないでバッファ層として成長することもあり、それでも良質のGaNを形成できる。また、バッファ層を特に設けない構造であっても良く、GaN基板を使用しても良い。

【0052】そして、本発明においては、基板の主面に対して傾斜した傾斜結晶面を形成するために、選択成長法を用いることができる。基板の主面に対して傾斜した傾斜結晶面は、その基板主面の選択にも依存するが、ウルツ鉱型の(0001)面[C面]を基板主面とした場合では、(1-100)面[M面]、(1-101)面[S面]、(11-20)面[A面]、(1-102)面[R面]、(1-123)面[N面]、(11-22)面およびこれらに等価な結晶面のうちから選ばれた傾斜結晶面を挙げることができ、特にS面や(11-22)面およびこれらに等価な結晶面で用いることが好ましい。これらに等価な結晶面とは前述のように、5乃至6度の範囲で傾いた面方位を含むものである。特にS面はC+面の上に選択成長した際に見られる安定面であり、比較的得やすい面であって六方晶系の面指数では(1-101)である。C面にC+面とC-面が存在するのと同様に、S面についてはS+面とS-面が存在するが、本明細書においては、特に断らない場合は、C+面GaIn上にS+面を成長しており、これをS面として説明している。なお、S面についてはS+面が安定面である。またC+面の面指数は(0001)である。このS面については、前述のように窒化ガリウム系化合物半導体で結晶層を構成した場合には、S面上、GaからNへのボンド数が2または3とC面の次に多くなる。ここでC-面はC+面の上には事実上得ることができないので、S面でのボンド数は最も多いものとなる。例えば、C面を主面に有するサファイア基板に窒化物を成長した場合、一般にウルツ鉱型の窒化物の表面はC+面になるが、選択成長を利用することでS面を形成することができ、C面に平行な面では脱離しやすい傾向をもつNのボンドがGaから一本のボンドで結合しているのに対し、傾いたS面では少なくとも一本以上のボンドで結合することになる。従って、実効的にV/III比が上昇することになり、積層構造の結晶性の向上に有利である。また、基板と異なる方位に成長すると基板から上に伸びた転位が曲がることもあり、欠陥の低減にも有利となる。

【0053】本発明の半導体発光素子においては、結晶層は基板の主面に対して傾斜した傾斜結晶面を有する構造を有しているが、特に、結晶層はS面または該S面に実質的に等価な面が略六角錐形状の斜面をそれぞれ構成する構造であっても良く、或いは、S面または該S面に実質的に等価な面が略六角錐台形状の斜面をそれぞれ構成する共にC面または該C面に実質的に等価な面が前記略六角錐台形状の上平面部を構成する構造、所謂略六角錐台形状であっても良い。これら略六角錐形状や略六角錐台形状は、正確に六角錐であることを必要とせず、その中の幾つかの面が消失したようなものも含む。好適な一例においては傾斜結晶面は六面でほぼ対称となるように配設される。ほぼ対称とは、完全に対称形状になっている場合の他、多少対称形状よりずれている場合も含

む。また、結晶層の結晶面間の稜線は必ずしも直線でなくとも良い。また、略六角錐形状や略六角錐台形状は直線状に延在された形状であっても良い。

【0054】具体的な選択成長法としては、そのような選択成長は下地成長層の一部を選択的に除去することを利用して行われたり、あるいは、選択的に前記下地成長層上にまたは前記下地成長層形成前に形成されたマスク層の開口された部分を利用して行われる。例えば、前記下地成長層がバッファ層と結晶種層とからなる場合、バッファ層上の結晶種層を点在する10μm径程度の小領域に細分化し、それぞれの部分からの結晶成長によってS面等を有する結晶層を形成することが可能である。例えば、細分化された結晶種層は、発光素子として分離するためのマージンを見込んで離間するように配列することができ、個々の小領域としては、帯状、格子状、円形状、正方形、六角形状、三角形状、矩形状、菱形およびこれらの変形形状などの形状にすることができる。下地成長層の上にマスク層を形成し、そのマスク層を選択的に開口して窓領域を形成することでも、選択成長が可能である。マスク層は例えば酸化シリコン層或いは窒化シリコン層によって構成することができる。前述のような略六角錐台形状や略六角錐形状が直線状に延在された形状である場合、一方向を長手方向とするような角錐台や角錐形状はマスク層の窓領域を帯状にしたり、結晶種層を帯状にすることで可能である。

【0055】選択成長を用いマスク層の窓領域を10μm程度の円形(或いは辺が1-100方向の六角形、または辺が11-20方向の六角形など)にすることでその約2倍程度の選択成長領域まで簡単に作製できる。またS面が基板と異なる方向であれば転位を曲げる効果、および転位を遮蔽する効果があるために、転位密度の低減にも役立つ。

【0056】本発明者らの行った実験において、カソードルミネッセンスを用いて成長した六角錐台形状を観測してみると、S面の結晶は良質でありC+面に比較して発光効率が高くなっていることが示されている。特にInGaIn活性層の成長温度は700~800°Cであるため、アンモニアの分解効率が低く、よりN種が必要とされる。またAFMで表面を見たところステップが揃ってInGaIn取り込みに適した面が観測された。さらにその上、Mgドープ層の成長表面は一般にAFMレベルでの表面状態が悪いが、S面の成長によりこのMgドープ層も良い表面状態で成長し、しかもドーピング条件がかなり異なることがわかっている。また、顕微フォトルミネッセンスマッピングを行うと、0.5~1μm程度の分解能で測定することができるが、C+面の上に成長した通常の方法では、1μmピッチ程度のむらが存在し、選択成長でS面を得た試料については均一な結果が得られた。また、SEMで見た斜面の平坦性もC+面より滑らかに成っている。

【0057】また、選択成長マスクを用いて選択成長する場合であって、選択マスク開口部の上だけに成長する際には横方向成長が存在しないため、マイクロチャネルエピタキシーを用いて横方向成長させ窓領域より拡大した形状にすることが可能である。このようなマイクロチャネルエピタキシーを用いて横方向成長をした方が貫通転位を避けやすくなり、転位が減ることがわかっている。またこのような横方向成長により発光領域も増大し、さらに電流の均一化、電流集中の回避、および電流密度の低減を図ることができる。

【0058】本発明の半導体発光素子は、基板の主面に対して傾斜した傾斜結晶面に平行な面内に延在する第1導電型層、活性層、及び第2導電型層を結晶層に形成する。第1導電型はp型又はn型のクラッド層であり、第2導電型はその反対の導電型である。例えばS面を構成する結晶層をシリコンドープの窒化ガリウム系化合物半導体層によって構成した場合では、n型クラッド層をシリコンドープの窒化ガリウム系化合物半導体層によって構成し、その上にInGa<sub>N</sub>層を活性層として形成し、さらにその上にp型クラッド層としてマグネシウムドープの窒化ガリウム系化合物半導体層を形成してダブルヘテロ構造をとることができる。活性層であるInGa<sub>N</sub>層をAlGa<sub>N</sub>層で挟む構造とすることも可能である。また、活性層は単一のバルク活性層で構成することも可能であるが、単一量子井戸(SQW)構造、二重量子井戸(DQW)構造、多重量子井戸(MQW)構造などの量子井戸構造を形成したものであっても良い。量子井戸構造には必要に応じて量子井戸の分離のために障壁層が併用される。活性層をInGa<sub>N</sub>層とした場合には、特に製造工程上も製造し易い構造となり、素子の発光特性を良くすることができる。さらにこのInGa<sub>N</sub>層は、窒素原子の脱離しにくい構造であるS面上での成長では特に結晶化しやすくしかも結晶性も良くなり、発光効率を上げることが出来る。なお、窒化物半導体はノンドープでも結晶中にできる窒素空孔のためにn型となる性質があるが、通常Si、Ge、Seなどのドナー不純物を結晶成長中にドープすることで、キャリア濃度の好ましいn型とすることができる。また、窒化物半導体をp型とするには、結晶中にMg、Zn、C、Be、Ca、Baなどのアクセプター不純物をドープすることによって得られるが、高キャリア濃度のp層を得るためには、アクセプター不純物のドープ後、窒素、アルゴンなどの不活性ガス雰囲気中で400℃以上でアニーリングを行うことが好ましく、電子線照射などにより活性化する方法もあり、マイクロ波照射、光照射などで活性化する方法もある。

【0059】これら第1導電型層、活性層、及び第2導電型層は基板の主面に対して傾斜した傾斜結晶面に平行な面内に延在されるが、このような面内への延在は傾斜結晶面が形成されているところで続けて結晶成長させれ

ば容易に行うことができる。結晶層が略六角錐形状や略六角錐台形状となり、各傾斜結晶面がS面等とされる場合には、第1導電型層、活性層、及び第2導電型層からなる発光領域を全部又は一部のS面上に形成することができる。略六角錐台形状の場合には、基板主面に平行な上面にも第1導電型層、活性層、及び第2導電型層を形成できる。傾斜したS面を利用して発光させることで、平行平板では多重反射により光が減衰していくが、傾いた面があると光は多重反射の影響を免れて半導体の外にできるという利点がある。第1導電型層すなわちクラッド層はS面を構成する結晶層と同じ材料で同じ導電型とすることができ、S面を構成する結晶層を形成した後、連続的に濃度を調整しながら形成することもでき、また他の例として、S面の構成する結晶層の一部が第1導電型層として機能する構造であっても良い。また、基板に対して面が垂直でない方が光取出しが改善されることになる。

【0060】本発明の半導体発光素子では、傾斜した傾斜結晶面の結晶性の良さを利用して、発光効率を高めることができる。特に、結晶性が良いS面にのみ電流を注入すると、S面はInの取り込みもよく結晶性も良いので発光効率を高くすることができる。また、活性層の実質的なS面に平行な面内に延在する面積は該活性層を基板又は前記下地成長層の主面に投影した場合の面積より大きいものとすることができる。このように活性層の面積を大きなものとすることで、素子の発光する面積が大きくなり、それだけで電流密度を低減することが出来る。また、活性層の面積を大きくすることで、輝度飽和の低減に役立ち、これにより発光効率を上げることが出来る。

【0061】六角錐形状の結晶層を考えた場合、S面の特に頂点近く部分がステップの状態が悪くなり、頂点部は発光効率が低くなっている。これは六角錐形状の素子では、それぞれの面のほぼ中心部分を中心に頂点側、側辺左側、側辺右側、底面側に4箇所に分けられ、特に頂点側部分は最もステップの状態が波打っていて、頂上付近になると異常成長が起こりやすくなっているためである。これに対して、側辺側の二箇所はどちらもステップがほぼ直線状でしかもステップが密集しており極めて良好な成長状態になっており、また、底面に近い部分はやや波打つステップであるが、頂点側ほどの異常成長は起こっていない。そこで本発明の半導体発光素子では、活性層への電流注入は頂点近傍側で周囲側よりも低密度となるように制御することが可能である。このような頂点近傍側で低密度の電流を流すためには、電極を斜面の側部には形成するが、頂点部分では電極を形成しないような構造としたり、或いは頂点部分に電極形成前に電流ブロック領域を形成する構造とすることができる。

【0062】結晶層と第2導電型層には、それぞれ電極が形成される。接触抵抗を下げるために、コンタクト層

10

20

30

40

50



を形成し、その後で電極をコンタクト層上に形成しても良い。これらの電極を蒸着法により形成する場合、p電極、n電極が結晶層とマスクの下に形成された結晶種層との双方についてしまうと短絡してしまうことがあり、それぞれ精度よく蒸着することが必要となる。

【0063】本発明の半導体発光素子は複数個を並べて画像表示装置や照明装置を構成することが可能である。各素子を3原色分揃え、走査可能に配列することで、S面を利用して電極面積を抑えることができるため、少ない面積でディスプレイとして利用できる。

【0064】〔半導体発光素子2〕本発明の半導体発光素子は、基板上に該基板の主面に対して傾斜したS面または該S面に実質的に等価な面を有する結晶層を形成し、該S面または該S面に実質的に等価な面に平行な面内に延在する第1導電型層、活性層、及び第2導電型層を前記結晶層に形成してなることを特徴とする。ここで、用いられる基板は、後述のS面またはそのS面に等価な面を有する結晶層を形成し得るものであれば特に限定されず、種々のものを使用でき、先の半導体発光素子1において例示したものと同様のものを用いることができる。

【0065】この基板上に形成される結晶層は基板の主面に対して傾斜したS面または該S面に実質的に等価な面を有している。この結晶層は後述のS面または該S面に実質的に等価な面に平行な面に第1導電型層、活性層、及び第2導電型層からなる発光領域を形成可能な材料層であれば良く、やはり先の半導体発光素子1において例示したものと同様のものを用いることができる。結晶層の成長方法、結晶層を成長する際に形成する下地成長層も先の半導体発光素子1と同様である。なお、S面に実質的に等価な面とは、S面に対して5乃至6度の範囲で傾いた面方位を含むものである。

【0066】そして、本発明においては、S面またはS面に実質的に等価な面を形成するために、選択成長法を用いることができる。S面はC+面の上に選択成長した際に見られる安定面であり、比較的得やすい面であって六方晶系の面指数では(1-101)である。C面にC+面とC-面が存在するのと同様に、S面についてはS+面とS-面が存在するが、本例においても、特に断らない場合は、C+面GaN上にS+面を成長しており、これをS面として説明している。

【0067】本発明の半導体発光素子においては、結晶層は少なくともS面又はS面に実質的に等価な面を有する構造を有しているが、特に、結晶層はS面または該S面に実質的に等価な面が略六角錐形状の斜面をそれぞれ構成する構造であっても良く、或いは、S面または該S面に実質的に等価な面が略六角錐台形状の斜面をそれぞれ構成する共にC面または該C面に実質的に等価な面が前記略六角錐台形状の上平面部を構成する構造、所謂略六角錐台形状であっても良い。これら略六角錐形状や略

六角錐台形状は、正確に六角錐であることを必要とせず、その中の幾つかの面が消失したようなものも含む。また、結晶層の結晶面間の稜線は必ずしも直線でも良い。また、略六角錐形状や略六角錐台形状は直線状に延在された形状であっても良い。具体的な選択成長法は、先の半導体発光素子1の場合と同様である。

【0068】本発明の半導体発光素子は、S面または該S面に実質的に等価な面に平行な面内に延在する第1導電型層、活性層、及び第2導電型層を結晶層に形成する。これら第1導電型層、活性層、及び第2導電型層については、先の半導体発光素子1の項において説明した通りである。

【0069】これら第1導電型層、活性層、及び第2導電型層はS面または該S面に実質的に等価な面に平行な面内に延在されるが、このような面内への延在はS面等が形成されているところで続けて結晶成長させれば容易に行うことができる。結晶層が略六角錐形状や略六角錐台形状となり、各傾斜面がS面等とされる場合は、第1導電型層、活性層、及び第2導電型層からなる発光領域を全部又は一部のS面上に形成することができる。略六角錐台形状の場合には、基板主面に平行な上面上にも第1導電型層、活性層、及び第2導電型層を形成できる。傾斜したS面を利用して発光させることで、平行平板では多重反射により光が減衰していくが、傾いた面があると光は多重反射の影響を免れて半導体の外にできるという利点がある。第1導電型層すなわちクラッド層はS面を構成する結晶層と同じ材料で同じ導電型とすることができ、S面を構成する結晶層を形成した後、連続的に濃度を調整しながら形成することもでき、また他の例として、S面の構成する結晶層の一部が第1導電型層として機能する構造であっても良い。

【0070】本発明の半導体発光素子では、傾斜したS面の結晶性の良さを利用して、発光効率を高めることができる。特に、結晶性が良いS面にのみ電流を注入すると、S面はInの取り込みもよく結晶性も良いので発光効率を高くすることができる。また、活性層の実質的なS面に平行な面内に延在する面積は該活性層を基板又は前記下地成長層の主面に投影した場合の面積より大きいものとすることができる。このように活性層の面積を大きなものとすることで、素子の発光する面積が大きくなり、それだけで電流密度を低減することが出来る。また、活性層の面積を大きくすることで、輝度飽和の低減に役立ち、これにより発光効率を上げることが出来る。

【0071】六角錐形状の結晶層を考えた場合、S面の特に頂点近く部分がステップの状態が悪くなり、頂点部は発光効率が低くなっている。これは六角錐形状の素子では、それぞれの面のほぼ中心部分を中心に頂点側、側面左側、側面右側、底面側に4箇所に分かれ、特に頂点側部分は最もステップの状態が波打っていて、頂上付近になると異常成長が起こりやすくなっているためであ

る。これに対して、側辺側の二箇所はどちらもステップがほぼ直線状でしかもステップが密集しており極めて良好な成長状態になっており、また、底面に近い部分はやや波打つステップであるが、頂点側ほどの異常成長は起こっていない。そこで本発明の半導体発光素子では、活性層への電流注入は頂点近傍側で周囲側よりも低密度となるように制御することが可能である。このような頂点近傍側で低密度の電流を流すためには、電極を斜面の側部には形成するが、頂点部分では電極を形成しないような構造としたり、或いは頂点部分に電極形成前に電流ブ

ロック領域を形成する構造とすることができる。  
 【0072】結晶層と第2導電型層には、それぞれ電極が形成される。接触抵抗を下げるために、コンタクト層を形成し、その後で電極をコンタクト層上に形成しても良い。これらの電極を蒸着法により形成する場合、p電極、n電極が結晶層とマスクの下に形成された結晶層との双方についてしまうと短絡してしまうことがあり、それぞれ精度よく蒸着することが必要となる。

【0073】本発明の半導体発光素子は複数個を並べて画像表示装置や照明装置を構成することが可能である。各素子を3原色分揃え、走査可能に配列することで、S面を利用して電極面積を抑えることができるため、少ない面積でディスプレイとして利用できる。

【0074】〔半導体発光素子3〕本発明の半導体発光素子は、選択成長により形成され成長基板の基板主面に対して傾斜してなる傾斜結晶面を有する結晶成長層と、前記結晶成長層に形成され所要の電流が注入されて光を発生させる活性層とを有し、前記活性層から素子外に出力される光の一部は前記傾斜結晶面にほぼ平行に延在された反射面で反射したものであることを特徴とする。基板や結晶層、結晶層の選択成長方法、第1導電型層、活性層、第2導電型層など、半導体発光素子の基本構成については、先の半導体発光素子1と同様である。

【0075】本発明の半導体発光素子における反射面は、その構造として特に限定されるものではないが、活性層で発生した光を実質的に全反射または多少の光透過があっても有効な反射が可能でなれば良い。この反射面はその少なくとも一部が傾斜結晶面にほぼ平行に延在される。反射面が傾斜結晶面にほぼ平行とは、実質的に平行である場合と完全の平行な面からすこしの傾きを有して延在している場合の両方を含む。反射面は単一の面とすることも可能であるが、それぞれ活性層で発生した光を反射する機能を有する傾斜結晶面に平行に延在される2面以上の面であっても良く、傾斜結晶面の法線方向で重複した構造であっても良い。本発明の半導体発光素子では結晶面自体を反射面とすることが可能であり、反射面に結晶面を用いれば、散乱成分が小さくなるため、より効率良く光が取り出される。また、結晶面を反射面とする場合には、活性層などの各半導体層を形成した後、電極として金属膜を形成する構造にできるため、

その電極が反射膜を構成する構造にすることができる。活性層上に形成された電極が反射膜として用いられる場合、活性層などを傾斜結晶層に積層する形で形成すれば、電極も結晶成長層の形状に自己形成的に形成でき、エッチングなどの加工は反射膜の形成については不要となる。

【0076】前記傾斜結晶面に平行に延在された反射面は、その一例として $180^\circ$ よりも小さな角度で対向する少なくとも2面以上の反射面を有する構造とすることができる。これら $180^\circ$ よりも小さな角度で対向する少なくとも2面以上の反射面は直接対向する2面以上の面であっても良く、間に他の角度で配される反射面や結晶面を挟んで対向する面であっても良い。例えばS面を側面とする六角錐構造の結晶成長層を形成する素子では、六角錐の頂点で約 $60^\circ$ 度前後の角度で対向することになる。

【0077】結晶成長層もしくは第1導電層と第2導電型層には、それぞれ電極が形成される。接触抵抗を下げるために、コンタクト層を形成し、その後で電極をコンタクト層上に形成しても良い。これらの電極を蒸着法により形成する場合、p電極、n電極が結晶層とマスクの下に形成された結晶層との双方についてしまうと短絡してしまうことがあり、それぞれ精度よく蒸着することが必要となる。本発明の基本構造を発光ダイオードとするには第1、第2導電層にそれぞれ電極を形成すれば良く、どちらの構造に対しても、光を取り出す方向は必要に応じて表裏どちらでも可能である。すなわち、透明基板であればどちらの構造であっても基板の裏側から光を取り出すことができ、透明電極を用いればどちらの構造でも表側から光を取り出すことができる。

【0078】本発明の半導体発光素子の要旨の1つは、出力として取り出される光の一部は選択成長によって形成された傾斜結晶面と平行に延在された反射面で反射したものである点であり、反射によって光取り出し効率が向上することから、当該半導体発光素子の高輝度化を図ることができる。また、反射面の基礎となる傾斜結晶面は選択成長を利用してプロセス上容易に形成されることから、自己形成的に特にエッチングなどの工程を追加しなくても得ることができる。

【0079】本発明の半導体発光素子の要旨のさらに他の1つは、選択成長を利用し、活性層を成長基板に対して傾斜した平面上にも形成する場合には、活性層の面積を大きくできるという点である。素子サイズが限定されている場合、素子内での活性層の有効面積が大きいほうが、同じ輝度を得るために必要な単位面積あたりの電流注入密度を小さくすることができる。したがって、有効面積が大きい構造の方が、同じ輝度を得るには信頼性が向上し、活性層に同じ負荷をかけるのであれば輝度を向上できる。特に活性層の総面積と選択成長領域の成長基板に占める面積との差が、少なくとも片側の電極とのコ



ンタクトに必要な面積より大きくなれば、コンタクト領域によって制限された活性層領域分が補償されることになる。したがって、本発明の半導体発光素子を用いて、活性層を傾斜結晶面に形成することで、該発光素子の素子サイズを必要なだけ小さくしても、構造上の負担すなわち電流が集中してしまうような事態が軽減されることになる。

【0080】なお、本発明の半導体発光素子は複数個を並べて画像表示装置や照明装置を構成することが可能である。各素子を3原色分揃え、走査可能に配列すること  
10 で、S面を利用して電極面積を抑えることができるため、少ない面積でディスプレイとして利用できる。

【0081】〔半導体発光素子4〕本発明の半導体発光素子は、基板上に第1導電型の第1成長層を形成し、該第1成長層上にマスク層を形成し、該マスク層に設けられた開口部から第1導電型の第2成長層を選択成長させて形成し、該第2成長層の結晶面に平行な面内に延在する第1導電型クラッド層、活性層、及び第2導電型クラッド層の一部または全部を前記開口部の周囲のマスク層上まで延在されるように形成してなることを特徴とする。  
20 本発明に用いられる基板は、基板の主面に対して傾斜した傾斜結晶面を有する結晶層を形成し得るものであれば特に限定されず、先の半導体発光素子1〜3と同様のものを用いることができる。

【0082】この基板上に形成される成長層は後述するマスク層の下部に配される第1成長層と、マスク層の開口部から成長して形成される第2成長層とからなる。これら第1成長層と第2成長層は共に第1導電型とされ、特に限定されるものではないが、第2成長層の結晶面に平行な面に第1導電型層、活性層、及び第2導電型層からなる発光領域を形成可能な材料層であれば良い。第1及び第2成長層の層形成材料として、化合物半導体材料が使用され、その中でもウルツ鉱型の結晶構造を有することが好ましい。

【0083】このような成長層としては、例えばIII族系化合物半導体やBeMgZnCdS系化合物半導体、BeMgZnCdO系化合物半導体を用いることができ、更には窒化ガリウム(GaN)系化合物半導体、窒化アルミニウム(AlN)系化合物半導体、窒化インジウム(InN)系化合物半導体、窒化インジウムガリウム(InGaN)系化合物半導体、窒化アルミニウムガリウム(AlGaN)系化合物半導体などを好ましくは形成することができ、特に窒化ガリウム系化合物半導体などの窒化物半導体が好ましい。なお、本発明において、InGaN、AlGaN、GaNなどは必ずしも、3元混晶のみ、2元混晶のみの窒化物半導体を指すのではなく、例えばInGaNでは、InGaNの作用を変化させない範囲での微量のAl、その他の不純物を含ん  
40 だいても本発明の範囲であることはいうまでもない。また、本明細書において、窒化物とはIII族にB、A

I、Ga、In、Taの中のいずれかひとつを用い、V族には主にNを用いることを特徴とするものである。しかしながら、本明細書において、微量のAs、Pを用いてバンドギャップを低減した材料であっても窒化物に含まれる。

【0084】この成長層の成長方法としては、種々の気相成長法を挙げることができ、例えば有機金属化合物気相成長法(MOCVD(MOVPE)法)や分子線エビタキシ法(MBE法)などの気相成長法や、ハイドライド気相成長法(HVPE法)などを用いることができる。その中でもMOVPE法によると、迅速に結晶性の良いものが得られる。MOCVD法では、GaソースとしてTMG(トリメチルガリウム)、TEG(トリエチルガリウム)、AlソースとしてはTMA(トリメチルアルミニウム)、TEA(トリエチルアルミニウム)、Inソースとしては、TMI(トリメチルインジウム)、TEI(トリエチルインジウム)などのアルキル金属化合物が多く使用され、窒素源としてはアンモニア、ヒドラジンなどのガスが使用される。また、不純物ソースとしてはSiであればシランガス、Geであればゲルマンガス、MgであればCp2Mg(シクロペンタジエニルマグネシウム)、ZnであればDEZ(ジエチルジメチルジゲルマニウム)などのガスが使用される。MOCVD法では、これらのガスを例えば600°C以上に加熱された基板の表面に供給して、ガスを分解することにより、InAlGa系化合物半導体をエビタキシャル成長させることができる。

【0085】前記第1成長層は例えば窒化ガリウム層や窒化アルミニウム層からなり、第1成長層は低温バッファ層と高温バッファ層との組合せ或いはバッファ層と結晶種として機能する結晶種層との組合せからなる構造であっても良い。成長層の成長を低温バッファ層から始めるとマスク上にポリ結晶が析出しやすくなって、それが問題となる。そこで、結晶種層を含んでからその上に基板と異なる面を成長することで、さらに結晶性のよい結晶が成長できる。また、選択成長を用いて結晶成長を行うには結晶種層がないとバッファ層から形成する必要があるが、もしバッファ層から選択成長を行うと成長の阻害された成長しなくても良い部分に成長が起こりやすくなる。従って、結晶種層を用いることで、成長に必要な領域に選択性良く結晶を成長させることができることになる。バッファ層は基板と窒化物半導体の格子不整合を緩和するという目的もある。したがって、窒化物半導体と格子定数の近い基板、格子定数が一致した基板を用いる場合にはバッファ層が形成されない場合もある。たとえば、SiC上にはAlNを低温にしないでバッファ層を形成することもあり、Si基板上にはAlN、GaNをやはり低温にしないでバッファ層として成長することもあり、それでも良質のGaN層が得られる。また、バッファ層については、特に設けない構造とすることでも

き、Ga<sub>0.5</sub>N基板を使用しても良い。

【0086】そして、本発明においては、選択成長により第2成長層を形成することから、基板の主面に対して傾斜した傾斜面を得ることができる。一般に、基板主面の選択にも依存するが、ウルツ鉱型の(0001)面[C面]を基板主面とした場合では、(1-100)面[M面]、(1-101)面[S面]、(11-20)面[A面]、(1-102)面[R面]、(1-123)面[N面]、(11-22)面およびこれらに等価な結晶面のうちから選ばれた傾斜面を形成することができ、特にS面や(11-22)面およびこれらに等価な結晶面を用いることが好ましい。これらに等価な結晶面とは前述のように、5乃至6度の範囲で傾いた面方位を含むものである。特にS面はC+面の上に選択成長した際に見られる安定面であり、比較的得やすい面であって六方晶系の面指数では(1, -1, 0, 1)面である。C面にC+面とC-面が存在するのと同様に、S面についてはS+面とS-面が存在するが、本明細書においては、特に断らない場合は、C+面Ga<sub>0.5</sub>N上にS+面を成長して

おり、これをS面として説明している。なお、S面についてはS+面が安定面である。

【0087】前述のように窒化ガリウム系化合物半導体で結晶層を構成した場合には、S面すなわちS+面上、GaからNへのボンド数が2または3とC面の次に多くなる。ここでC-面はC+面の上には事実上得ることができないので、S面でのボンド数は最も多いものとなる。例えば、C面を主面に有するサファイア基板に窒化物を成長した場合、一般にウルツ鉱型の窒化物の表面はC+面になるが、選択成長を利用することでS面を形成することができ、C面に平行な面では脱離しやすい傾向をもつNのボンドがGaから一本のボンドで結合しているのに対し、傾いたS面では少なくとも一本以上のボンドで結合することになる。従って、実効的にV/III比が上昇することになり、積層構造の結晶性の向上に有利である。また、基板と異なる方位に成長すると基板から上に伸びた転位が曲がることもあり、欠陥の低減にも有利となる。

【0088】本発明の半導体発光素子においては、選択成長によって第2成長層は基板の主面に対して傾斜した構造とすることが可能であるが、特に、第2成長層はS面または該S面に実質的に等価な面が略六角錐形状の斜面をそれぞれ構成する構造であっても良く、或いは、S面または該S面に実質的に等価な面が略六角錐台形状の斜面をそれぞれ構成する共にC面または該C面に実質的に等価な面が前記略六角錐台形状の上平面部を構成する構造、所謂略六角錐台形状であっても良い。これら略六角錐形状や略六角錐台形状は、正確に六角錐であることを必要とせず、その中の幾つかの面が消失したようなものも含む。また、結晶層の結晶面間の稜線は必ずしも直線

状は直線状に延在された形状であっても良い。

【0089】具体的な選択成長法としては、選択的に第1成長層上に形成されたマスク層の開口された部分を利用して行われる。マスク層の開口部の形状としては、円形状、正形状、六角形状、三角形状、矩形状、菱形、帯状、格子状およびこれらの変形状などの形状にすることができる。マスク層は例えば絶縁材料からなり、例えば酸化シリコン層或いは窒化シリコン層によって構成することができる。マスク層の厚みは、活性層近傍や電極近傍の段差を緩和する目的で、0.1乃至5μmの範囲で形成することができ、より好ましくは0.1乃至1.0μmの程度である。前述のような略六角錐台形状や略六角錐形状が直線状に延在された形状である場合、一方向を長手方向とするような角錐台や台形状はマスク層の開口部(窓領域)を帯状にすることで可能である。

【0090】選択成長を用いマスク層の開口部を10μm程度の円形(或いは辺が1-100方向の六角形、または辺が11-20方向の六角形など)にすることでその約2倍程度の選択成長領域まで簡単に作製できる。またS面が基板と異なる方向であれば転位を曲げる効果、および転位を遮蔽する効果があるために、転位密度の低減にも役立つ。

【0091】本発明者らの行った実験において、カソードルミネッセンスを用いて成長した六角錐台形状を観測してみると、第2成長層として形成されたS面の結晶は良質でありC+面に比較して発光効率が高くなっていることが示されている。特にInGa<sub>0.5</sub>N活性層の成長温度は700~800°Cであるため、アンモニアの分解効率が低く、よりN種が必要とされる。またAFMで表面を見たところステップが揃ってInGa<sub>0.5</sub>N取り込みに適した面が観測された。さらにその上、Mgドープ層の成長表面は一般にAFMレベルでの表面状態が悪いが、S面の成長によりこのMgドープ層も良い表面状態で成長し、しかもドーピング条件がかなり異なることがわかっている。また、顕微フォトルミネッセンスマッピングを行うと、0.5-1μm程度の分解能で測定することができるが、C+面の上に成長した通常の方法では、1μmピッチ程度のむらが存在し、選択成長でS面を得た試料については均一な結果が得られた。また、SEMで見た斜面の平坦性もC+面より滑らかに成っている。

【0092】また、選択成長マスクを用いて選択成長する場合であって、選択マスク開口部の上だけに成長する際には横方向成長が存在しないため、マイクロチャネルエピタキシーを用いて横方向成長させ窓領域より拡大した形状にすることが可能である。このようなマイクロチャネルエピタキシーを用いて横方向成長をした方が貫通転位を避けやすくなり、転位が減ることがわかっている。またこのような横方向成長により発光領域も増大し、さらに電流の均一化、電流集中の回避、および電流

密度の低減を図ることができる。

【0093】本発明の半導体発光素子は、第2成長層の結晶面に平行な面内に延在する第1導電型クラッド層、活性層、及び第2導電型クラッド層を第2成長層に形成する。第1導電型層、活性層、第2導電型層の基本構成については、先の半導体発光素子1と同様である。

【0094】本発明の半導体発光素子においては、第1導電型クラッド層、活性層、及び第2導電型クラッド層の全部または一部が開口部の周囲のマスク層上にまで延在される。このようにマスクを除去しない構造とするため、横方向に成長した部分の下部の支えがなくなることなく、また全部マスク層を残した状態にすれば、選択成長構造の段差が緩和され、レーザ照射などによって基板を剥がした場合でも、マスク層が第1成長層の支持層として機能しながらn電極とp電極を確実に分離して短絡を防止できる。

【0095】また、本発明の他の半導体発光素子においては、第1導電型クラッド層、活性層、及び第2導電型クラッド層によって、第2成長層の全体が被覆される構造となる。まず、このような構造は、選択成長によって傾斜した結晶面を第2成長層が呈するために容易に構成できる。すなわち、基板主面に平行に延在する活性層などを形成した場合では、端部が空气中に露出し得るが、傾斜した結晶面を利用することで端部までも被覆することができる。第2成長層の全体が被覆されることで、活性層の酸化などの劣化が未然に防止されることになり、さらに発光面積が増大するといった効果も得られる。

【0096】また、本発明の更に他の半導体発光素子においては、第1導電型クラッド層、活性層、及び第2導電型クラッド層の各端部が直接マスク層に接する構造にすることができ、このような構造は、選択成長によって傾斜した結晶面を第2成長層が呈するために容易に構成でき、各端部が直接マスク層に接して活性層等を被覆することから、活性層の酸化などの劣化が未然に防止されることになり、さらに発光面積が増大するといった効果も得られる。

【0097】本発明の半導体発光素子では、結晶面の結晶性の良さを利用して、発光効率を高めることができる。特に、結晶性が良いS面にのみ電流を注入すると、S面はInの取り込みもよく結晶性も良いので発光効率を高くすることができる。また、活性層の実質的なS面に平行な面内に延在する面積は該活性層を基板又は前記第1成長層の主面に投影した場合の面積より大きいものとする。このように活性層の面積を大きくすることで、素子の発光する面積が大きくなり、それだけで電流密度を低減することが出来る。また、活性層の面積を大きくすることで、輝度飽和の低減に役立ち、これにより発光効率を上げることが出来る。

【0098】第2成長層と第2導電型クラッド層には、それぞれ電極が形成される。接触抵抗を下げるために、

コンタクト層を形成し、その後で電極をコンタクト層上に形成しても良い。これらの電極を蒸着法により形成する場合、p電極、n電極が層とマスクの下に形成された第1成長層との双方についてしまうと短絡してしまうことがあり、それぞれ精度よく蒸着することが必要となる。

【0099】本発明の半導体発光素子は複数個を並べて画像表示装置や照明装置を構成することが可能である。各素子を3原色分揃え、走査可能に配列することで、S面を利用して電極面積を抑えることができるため、少ない面積でディスプレイとして利用できる。

【0100】〔半導体発光素子5〕本発明の半導体発光素子は、第1導電層と第2導電層に挟まれ、選択成長により成長基板の主面に平行でなく延在される活性層を有し、前記活性層の面積は前記成長基板の上の前記選択成長の際に用いた窓領域の面積より大きくされ、若しくは前記選択成長により結晶成長した結晶成長層を前記成長基板の法線方向に投影した場合の写像面積よりも大きくされることを特徴とする。基板や結晶層、結晶層の選択成長方法、第1導電型層、活性層、第2導電型層など、半導体発光素子の基本構成については、先の半導体発光素子1と同様である。

【0101】本発明は選択成長により活性層を斜面に形成するという基本構造であることから、本発明の効果を十分得るには基本となる素子サイズが結晶成長層の層厚と同等のサイズ、すなわち大きくとも50ミクロン程度の大きさであることが好ましく、かつ素子サイズが小さい場合ほど効果的である。しかし、基本構造の1次元、あるいは2次元配列を一つの素子に内包すればどのようなサイズの素子についても適用可能である。特に導電層の抵抗値が高いために電極引き回しの必要な第1導電層について高密度のコンタクトを必要としたり、第2導電層のなるべく大きな面積のコンタクトを必要とする場合において本発明の半導体発光素子は効果的である。

【0102】本発明の半導体発光素子は、第1導電層と第2導電層に挟まれた構造の活性層を有しており、活性層は成長基板の主面に対して平行でない面内に延在される。第1導電型はp型又はn型のクラッド層であり、第2導電型はその反対の導電型である。例えばC面を構成する結晶層をシリコンドープの窒化ガリウム系化合物半導体層によって構成した場合は、n型クラッド層をシリコンドープの窒化ガリウム系化合物半導体層によって構成し、その上にInGaIn層を活性層として形成し、さらにその上にp型クラッド層としてマグネシウムドープの窒化ガリウム系化合物半導体層を形成してダブルヘテロ構造をとることができる。活性層であるInGaIn層をAlGaIn層で挟む構造とすることも可能である。また、活性層は単一のバルク活性層で構成することも可能であるが、単一量子井戸(SQW)構造、二重量子井戸(DQW)構造、多重量子井戸(MQW)構造などの

量子井戸構造を形成したものであっても良い。量子井戸構造には必要に応じて量子井戸の分離のために障壁層が併用される。活性層を InGa<sub>N</sub> 層とした場合には、特に製造工程上も製造し易い構造となり、素子の発光特性を良くすることができる。さらにこの InGa<sub>N</sub> 層は、窒素原子の脱離しにくい構造である S 面の上での成長では特に結晶化しやすくしかも結晶性も良くなり、発光効率を上げることが出来る。なお、窒化物半導体はノンドーブでも結晶中にできる窒素空孔のために n 型となる性質があるが、通常 Si、Ge、Se などのドナー不純物を結晶成長中にドーブすることで、キャリア濃度の好ましい n 型とすることができる。また、窒化物半導体を p 型とするには、結晶中に Mg、Zn、C、Be、Ca、Ba などのアクセプター不純物をドーブすることによって得られる。

【0103】これら第 1 導電型層、活性層、及び第 2 導電型層は成長基板の主面に対して傾斜した結晶成長層に形成されるが、このような成長基板の主面と平行でない面内への活性層の延在は傾斜した結晶面が形成されているところで続けて結晶成長させれば容易に行うことができる。また、結晶面が稜線の両側に延在するところに活性層を形成することで、活性層は屈曲部を含んで延在される。結晶成長層が略六角錐形状や略六角錐台形状となり、各傾斜した結晶成長層の表面が S 面等とされる場合には、第 1 導電型層、活性層、及び第 2 導電型層からなる発光領域を全部又は一部の S 面上に形成することができる。

【0104】略六角錐台形状の場合には、基板主面に平行な上面上、例えば C 面上にも第 1 導電型層、活性層、及び第 2 導電型層を形成できる。傾斜した S 面を利用して発光させることで、平行平板では多重反射により光が減衰していくが、傾いた面があると光は多重反射の影響を免れて半導体の外にでることができるといふ利点がある。第 1 導電型層すなわちクラッド層は S 面を構成する結晶層と同じ材料で同じ導電型とすることができ、S 面を構成する結晶層を形成した後、連続的に濃度を調整しながら形成することもでき、また他の例として、S 面の構成する結晶層の一部が第 1 導電型層として機能する構造であっても良い。

【0105】本発明の半導体発光素子では、傾斜した傾斜結晶面の結晶性の良さを利用して、発光効率を高めることができる。特に、結晶性が良い S 面にのみ電流を注入すると、S 面は In の取り込みもよく結晶性も良いので発光効率を高くすることができる。また、活性層の実質的な S 面に平行な面内に延在する面積は該活性層を基板又は前記下地成長層の主面に投影した場合の面積より大きいものとする。このように活性層の面積を大きなものとする。素子の発光する面積が大きくなり、それだけで電流密度を低減することが出来る。また、活性層の面積を大きくとることで、輝度飽和

の低減に役立ち、これにより発光効率を上げることが出来る。

【0106】結晶成長層もしくは第 1 導電層と第 2 導電層には、それぞれ電極が形成される。接触抵抗を下げるために、コンタクト層を形成し、その後で電極をコンタクト層上に形成しても良い。これらの電極を蒸着法により形成する場合、p 電極、n 電極が結晶層とマスクの下に形成された結晶種層との双方についてしまうと短絡してしまふことがあり、それぞれ精度よく蒸着することが必要となる。本発明の基本構造を発光ダイオードとするには第 1、第 2 導電層にそれぞれ電極を形成すれば良く、どちらの構造に対しても、光を取り出す方向は必要に応じて表裏どちらでも可能である。すなわち、透明基板であればどちらの構造であっても基板の裏側から光を取り出せるし、透明電極を用いればどちらの構造でも表側から光を取り出すことができる。

【0107】本発明の半導体発光素子の要旨の 1 つは、選択成長することによって、活性層を成長基板に対して平行でない平面上にも形成することで活性層の面積を大きくするという点である。素子サイズが限定されている場合、素子内での活性層の有効面積が大きいほうが、同じ輝度を得るために必要な単位面積あたりの電流注入密度を小さくすることができる。したがって、有効面積が大きい構造の方が、同じ輝度を得るには信頼性が向上し、活性層に同じ負荷をかけるのであれば輝度を向上できる。特に活性層の総面積と選択成長領域の成長基板に占める面積との差が、少なくとも片側の電極とのコンタクトに必要な面積より大きくなれば、コンタクト領域によって制限された活性層領域分が補償されることになる。したがって、本発明の半導体発光素子を用いることで、該発光素子の素子サイズを必要なだけ小さくしても、構造上の負担すなわち電流が集中してしまうような事態が軽減されることになる。

【0108】ここで、例えば断面三角形のストライプパターンに結晶成長層が奥行き方向に続いていると仮定し、基板主面と結晶成長層の傾斜面の傾き角を  $\theta$  とすると、活性層の全領域について成長基板の法線ベクトル方向に投影した写像の写像面積と比較すると、活性層の有効面積は最大  $1/\cos \theta$  倍大きくなることがわかる。断面三角形のストライプパターンの構造に限らず、選択成長により多角台形や、多角錐などを形成後、その表面に基板に平行でない活性層が形成できれば、有効面積はほぼ必然的に大きくなる。なお、写像面積とは、基板主面における占有面積に等しく、基板主面に垂直な法線ベクトル方向に光を仮想的に照射した場合に結晶成長層によって形成される影部分の面積に等しい。

【0109】さらに非成長領域を小さくし、かつ成長阻害膜すなわちマスク層などにより分離され、隣り合った安定面同士を接触しないぎりぎりまで成長すれば、成長基板の面積より活性層面積を大きくすることも可能であ

る。ただし図16に示す発光素子では、一回の成長での最大面積は成長基板の成長面の面積に等しく、また電極や素子分離溝を付加するとさらに活性層の有効面積は小さくなるため、かならずしも活性層の総面積が成長基板の面積より大きくならなくても十分効果がある。

【0110】活性層の有効面積を、成長基板上の選択成長の際に用いた窓領域の面積より大きくし、若しくは選択成長により結晶成長した結晶成長層を成長基板の法線方向に投影した場合の写像面積よりも大きくすることで、活性層に注入される電流の密度を下げることで、素子の信頼性を向上できる。また、活性層の有効面積が、選択成長領域を成長基板へ法線ベクトル方向に投影した写像の面積と少なくとも片側の電極と導電層との接触面積の和よりも大きくすることでも、活性層に注入される電流の密度を下げることで、素子の信頼性を向上できる。特に活性層の総面積と選択成長領域の成長基板上に占める写像面積との差が、少なくとも片側の電極とのコンタクトに必要な面積より大きくなれば、コンタクト領域によって制限された活性層領域分が補償される。

【0111】例えば30 $\mu$ m角の発光ダイオード素子の製造について考えると、第1電極と第1導電層である下地導電層が接触する領域は20 $\mu$ m $\times$ 5 $\mu$ m程度、活性層を配置できる選択成長領域は大きくとも20 $\mu$ m角程度である。したがって、活性層の総面積を500 $\mu$ m<sup>2</sup>以上に設定することで、本発明の素子構造が得られることになる。実際に、選択成長領域に底辺が20 $\mu$ m角で斜面の角度45°の四角錐を形成し、活性層がその斜面に均一に形成されると、活性層の総面積は20 $\mu$ m $\times$ 20 $\mu$ m/cos45°=566 $\mu$ m<sup>2</sup>となり、接触面積に比べて活性層の有効面積を十分増大することができる。また、斜面の角度が大きければさらに効果的であることも明らかである。例えば、ウルツ鉱型の(0001)面に対する安定面(1-101)面は約62°、せん亜鉛型の(001)面に対する安定面(111)面は54.7°であるから、本発明の活性層の領域を広げて信頼性を確保するという効果を十分に得ることができる。

【0112】なお、本発明の半導体発光素子は複数個を並べて画像表示装置や照明装置を構成することが可能である。各素子を3原色分揃え、走査可能に配列することで、S面を利用して電極面積を抑えることができるため、少ない面積でディスプレイとして利用できる。

【0113】

【実施例】以下、本発明を各実施例を参照しながら更に詳細に説明する。各実施例はそれぞれ製造方法に対応しており、その製造方法によって完成した素子が本発明の構造を有する半導体発光素子である。従って、各実施例では初めに製造工程について説明を行い、次いで製造された素子自体について説明する。なお、本発明の半導体発光素子は、その要旨を逸脱しない範囲で変形、変更な

どが可能であり、本発明は以下の実施例に限定されるものではない。

#### 【0114】実施例1

本実施例はサファイア基板上に直接選択成長で傾斜結晶面としてS面を有する結晶層を形成する半導体発光素子の例であり、図1乃至図7を参照しながら、その製造工程と共に素子構造を説明する。

【0115】C+面を基板主面11とするサファイア基板10上に、SiO<sub>2</sub>またはSiNを用いたマスク層12を全面に厚さ100~500nmの範囲で形成し、100 $\mu$ m程度の開口部13をフォトリソグラフィとフッ酸系エッチャントを用いて形成する(図1)。この開口部13は本実施例においては略矩形状であり、大きさは作成すべき発光素子の特性に応じて変えることができる。

【0116】次に、選択成長としてもう一度結晶成長を行う。これは低温500℃で薄い(20~30nm)のGaN層(低温バッファ層)を成長し、図2に示すように、その後成長温度を1000℃程度に上昇させてシリコンドープのGaN層14を形成する。このシリコンドープのGaN層14はマスクの開口部13に成長するが、水素雰囲気中で、この成長温度1000℃を維持しながらしばらく成長を続けると横方向にやや広がる。

【0117】さらにその上にマスク層15を形成し、さらにフォトリソグラフィとエッチングで略円形の開口部16を設け(図3)、さらに開口部16の内側で成長を続けシリコンドープのGaN層17からなる六角錐形状の結晶層を成長させる。その際、六角錐形状の結晶層の表面はS(1-101)面で覆われる。成長時間が足りないなどの成長条件が異なると、上面側が基板主面と平行なC+面を有する六角台形状になるが、この実施例では六角錐になるまでシリコンドープのGaN層17からなる結晶層を成長する。十分な成長時間を経過した後は、シリコンドープのGaN層17の表面は、六角錐形状の各斜面がS面で覆われるようになる。この際、開口部16のピッチは十分に離しておく必要がある。

【0118】六角錐形状をシリコンドープのGaN層17で形成した後、しばらく成長を行い六角錐の大きさが幅15~20 $\mu$ m程度(一辺が7.5~10 $\mu$ m程度)になった際、高さは六角錐としてその一辺の1.6倍程度になり、従って10~16 $\mu$ m程度になる。なお、この10~16 $\mu$ m程度のサイズは例示であり、幅10 $\mu$ m以下のサイズであっても良い。そこまで成長して閉じた六角錐が形成された後、さらにシリコンドープのGaN層17を成長し、その後成長温度を低減しInGaN層18を成長する。その後成長温度を上昇し、図4に示すようにマグネシウムドープのGaN層19を成長する。その際のInGaN層18の厚さは0.5nmから3nm程度である。さらに(Al)GaN/InGaNの量子井戸層や多重量子井戸層などにすることもあり、



ガイド層として機能するGa<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>NまたはInGa<sub>0.5</sub>Nを用いて多重構造とすることもある。その際、InGa<sub>0.5</sub>Nのすぐ上の層にはAlGa<sub>0.5</sub>N層を成長することが望ましい。

【0119】その後、そのエピ層の一部をシリコンドープのGa<sub>0.5</sub>N層14が露出するまでエッチングし、さらにその除去した部分21にTi/Al/Pt/Au電極を蒸着する。これがn電極20となる。さらに六角錐上に成長した最表層にNi/Pt/AuまたはNi(Pd)/Pt/Auを蒸着する。この蒸着によりp電極22が完成する(図5)。これらの蒸着の際、p電極22、n電極20が六角錐形状のシリコンドープのGa<sub>0.5</sub>N層17とマスクの下に形成されたシリコンドープのGa<sub>0.5</sub>N層14との双方についてしまうと短絡してしまうので、それぞれ精度よく蒸着することが必要である。その後、図6に示すように、当該発光素子をRIE(反応性イオンエッチング)またはダイサーなどで分離する(図6)。これにより本実施例による発光素子が完成する。

【0120】このような製造工程で製造された本実施例の発光素子は、図7に示す素子構造を有している。その主な構成はC+面を基板主面とするサファイア基板10上に結晶種層となるシリコンドープのGa<sub>0.5</sub>N層14を介して成長した結晶層としてのシリコンドープのGa<sub>0.5</sub>N層17を有している。このシリコンドープのGa<sub>0.5</sub>N層17は基板主面とは傾斜してなるS面を有しており、このS面に平行に延在してなる形状で活性層であるInGa<sub>0.5</sub>N層18が形成され、さらにそのInGa<sub>0.5</sub>N層18上にクラッド層としてマグネシウムドープのGa<sub>0.5</sub>N層19が形成されている。p電極22はマグネシウムドープのGa<sub>0.5</sub>N層19の上面に形成されており、n電極20は、六角錐部分の側部で開口された領域に形成されており、シリコンドープのGa<sub>0.5</sub>N層14を介してシリコンドープのGa<sub>0.5</sub>N層17に接続している。

【0121】このような構造を有する本実施例の半導体発光素子は、基板主面に対して傾斜したS面を利用することから、その窒素原子からガリウム原子へのボンドの数が增大することになり、実効的なV/III比を高くすることが可能であり、形成される半導体発光素子の高性能化を図ることができる。また、基板主面はC+面であり、S面は基板主面と異なる面であるために、基板から上に延びた転位が曲がることもあり、欠陥を低減することも可能となる。さらに、基板の主面に対して傾斜した傾斜結晶面を用いることで、多重反射を防止することもでき、発生した光を効率良く素子外部に導くことができる。

#### 【0122】実施例2

本実施例は、サファイア基板上に分離した結晶種を形成し、基板の主面に対して傾斜した傾斜結晶面としてS面を有する結晶層を形成する半導体発光素子の例であり、図8乃至図15を参照しながら、その製造工程と共に素子構造を説明する。

【0123】基板主面をC+面とするサファイア基板30上に、まず500°Cの低温でAlNまたはGa<sub>0.5</sub>Nのいずれかのバッファ層を形成する。その後昇温し1000°CにしてシリコンドープのGa<sub>0.5</sub>N層31を形成する。その後、SiO<sub>2</sub>またはSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>を用いたマスク層を全面に厚さ100~500nmの範囲で形成し、図8に示すように、フォトリソグラフィとフッ酸系エッチャントを用いて10μm程度の円形状のマスク部32を残し、図9に示すようにサファイア基板30の主面が露呈するまでエッチングする。その結果、マスク部32の形状を反映して円筒状のシリコンドープのGa<sub>0.5</sub>N層31が残される。

【0124】次に、マスク部32を除去してもう一度結晶成長を行うが、このときは1000°C程度に成長温度を上昇し、シリコンドープのGa<sub>0.5</sub>N層33を成長する。シリコンドープのGa<sub>0.5</sub>N層33は残っていたシリコンドープのGa<sub>0.5</sub>N層31上に成長するが、しばらく成長を続けると基板主面に対して傾斜したS面によって周囲が囲まれた六角錐形状となって行く。成長に時間をかけるだけ、六角錐形状のシリコンドープのGa<sub>0.5</sub>N層33が大きく成長するが、十分に成長した場合でもGa<sub>0.5</sub>N層33同士が干渉せず、且つ素子間の分離のためのマージンを確保するようにGa<sub>0.5</sub>N層31のピッチは十分に離しておく必要がある。

【0125】六角錐の大きさが実施例1と同様に幅15~20μm程度(一辺が7.5~15μm程度)になった際、高さは六角錐としてその一辺の1.6倍程度にすなわち10~16μm程度になる。なお、六角錐の大きさが幅15~20μm程度は例示であり、例えば六角錐の大きさを幅10μm程度またはそれ以下とすることも可能である。図10に示すように、成長して傾斜したS面で囲まれた六角錐が形成された後、さらにシリコンドープのGa<sub>0.5</sub>N層を成長し、その後成長温度を低減しInGa<sub>0.5</sub>N層34を成長する。その後、成長温度を上昇し、図11に示すように、マグネシウムドープのGa<sub>0.5</sub>N層35を成長する。その際のInGa<sub>0.5</sub>N層34の厚さは0.5nmから3nm程度である。さらに活性層を(Al)Ga<sub>0.5</sub>N/InGa<sub>0.5</sub>Nの量子井戸層や多重量子井戸層などにもすることもあり、ガイド層として機能するGa<sub>0.5</sub>NまたはInGa<sub>0.5</sub>Nを用いて多重構造とすることもある。その際、InGa<sub>0.5</sub>Nのすぐ上の層にはAlGa<sub>0.5</sub>N層を成長することが望ましい。

【0126】その後、活性層であるInGa<sub>0.5</sub>N層34およびp型クラッド層であるマグネシウムドープのGa<sub>0.5</sub>N層35の一部を基板に近い側で除去してシリコンドープのGa<sub>0.5</sub>N層33の一部を露出させる。さらにその除去した基板に近い部分にTi/Al/Pt/Au電極を蒸着する。これがn電極36となる。さらに六角錐上に成長した最表層にNi/Pt/AuまたはNi(Pd)/Pt/Auを蒸着する。この蒸着によりp電極37が完成

する(図12)。これらの蒸着の際には、電極同士の短絡を防止するために、精度の高い蒸着が必要であることは、実施例1と同様である。

【0127】所要の電極36、37を形成した後、図13に示すように、当該発光素子をRIE(反応性イオンエッチング)またはダイサーなどで素子毎に分離する。これにより本実施例による発光素子が完成する。

【0128】このような製造工程で製造された本実施例の発光素子は、図14に示す素子構造を有している。その主な構成はC+面を基板主面とするサファイヤ基板30上に結晶層としてのシリコンドープのGaN層33を有している。このシリコンドープのGaN層33は基板主面とは傾斜してなるS面を有しており、このS面に平行に延在してなる形状で活性層であるInGaN層34が形成され、さらにそのInGaN層34上にクラッド層としてマグネシウムドープのGaN層35が形成されている。p電極37はマグネシウムドープのGaN層35の上面に形成されており、n電極36は、六角錐のS面上で基板近傍で開口された領域に形成されており、シリコンドープのGaN層33に直接接続している。

【0129】このような構造を有する本実施例の半導体発光素子は、実施例1の発光素子と同様に、基板主面に対して傾斜したS面を利用することから、その窒素原子からガリウム原子へのボンドの数が増大することになり、実効的なV/III比を高くすることが可能であり、形成される半導体発光素子の高性能化を図ることができる。また、基板主面はC+面であり、S面は基板主面と異なる面であるために、基板から上に延びた転位が曲がることがあり、欠陥を低減することも可能となる。さらに基板の主面に対して傾斜したS面を用いることで、多重反射を防止することもでき、発生した光を効率良く素子外部に導くことができる。

【0130】なお、本実施例では最初にシリコンドープのGaN層をエッチングしてサファイヤ基板30まで露出したが、十分な段差さえあれば、シリコンドープのGaNの中で段差を作るためにエッチングすれば良い。そのようにして出来た結晶種層のシリコンドープのGaN層上に成長すると簡単に六角錐形状を得ることができる。図15にそのような製造方法で製造された素子の構造を示す。サファイヤ基板30上に形成されたシリコンドープのGaN層38に段差39が形成され、その凸部分からの結晶成長で六角錐形状の結晶層であるシリコンドープのGaN層が形成され、InGaN層34からなる活性層、マグネシウムドープのGaN層35からなるp型クラッド層、p電極37、n電極が形成され、InGaN層34から所要の波長の光が取り出される。

#### 【0131】実施例3

本実施例は、基板の主面に対して傾斜した傾斜結晶面としてS面を有する六角錐形状の結晶層を選択マスクすなわち窓領域内にとどめて形成する半導体発光素子の例で

あり、図16乃至図21を参照しながら、その製造工程と共に素子構造を説明する。

【0132】基板主面をC+面とするサファイヤ基板40上に、まず500°Cの低温でAlNまたはGaNのいずれかのバッファ層を形成する。その後昇温し1000°CにしてシリコンドープのGaN層41を形成する。その後、SiO<sub>2</sub>またはSiNを用いたマスク層42を全面に厚さ100~500nmの範囲で形成し、図16に示すように、フォトリソグラフィとフッ酸系エッチャントを用いて10μm程度の円形状の開口部からなる窓領域43を形成する。この開口部の大きさは作りたい素子の特性により変える。

【0133】次に再度、成長温度1000°CでシリコンドープのGaN層44の結晶成長を行う。当初、シリコンドープのGaN層44は円形の窓領域43から成長するが、しばらく成長を続けると周囲がS面(1-101)よりなる六角錐の形状を露呈してくる。成長条件が異なる場合は六角錐台形状になるが、成長条件を制御することでS面で覆われる六角錐が選択マスクの枠内ほぼいっぱいになるシリコンドープのGaN層44が形成される。その後成長温度を低減し活性層となるInGaN層45を成長する。その後、図18に示すように、成長温度を再び上昇させ、p型クラッド層としてのマグネシウムドープのGaN層46を成長させる。その際のInGaN層45の厚さは0.5nmから3nm程度である。さらに前述の実施例1、2と同様に、活性層を(A1)GaN/InGaNの量子井戸層や多重量子井戸層などにもすることもあり、ガイド層として機能するGaNまたはInGaNを用いて多重構造とすることもある。その際、InGaNのすぐ上の層にはAlGaN層を成長することが望ましい点は、前述の実施例1、2と同様である。選択成長時には、選択マスクの窓領域43の中に全結晶層の横方向が含まれるようにすることが好ましい。この方法では各発光素子の大きさを均一にすることが容易となる。

【0134】その後、マスク層の一部を開口してGaN層41を露出させ、さらにその除去した部分47にTi/Al/Pt/Au電極を蒸着する。これがn電極48となる。さらに六角錐上に成長した最表層にNi/Pt/AuまたはNi(Pd)/Pt/Auを蒸着する。この蒸着によりp電極49が完成する(図19)。これらの蒸着の際、p電極49、n電極48はそれぞれ精度よく蒸着することが必要である。その後、図20に示すように、当該発光素子をRIE(反応性イオンエッチング)またはダイサーなどで分離する。これにより本実施例による発光素子が完成する。

【0135】このような製造工程で製造された本実施例の発光素子は、図21に示す素子構造を有している。その主な構成はC+面を基板主面とするサファイヤ基板40上に結晶種層となるシリコンドープのGaN層41を



介して成長した結晶層としてのシリコンドープのGa<sub>0.4</sub>N層44を有している。このシリコンドープのGa<sub>0.4</sub>N層44は基板主面とは傾斜してなるS面に覆われた周面を有しており、このS面に平行に延在してなる形状で活性層であるInGa<sub>0.4</sub>N層45が形成され、さらにそのInGa<sub>0.4</sub>N層45上にクラッド層としてマグネシウムドープのGa<sub>0.4</sub>N層46が形成されている。p電極49はマグネシウムドープのGa<sub>0.4</sub>N層46の上面に形成されており、n電極48は、六角錐部分の側部で開口された領域47に形成されており、シリコンドープのGa<sub>0.4</sub>N層41を介してシリコンドープのGa<sub>0.4</sub>N層44に接続している。

【0136】このような構造を有する本実施例の半導体発光素子は、前述の実施例1、2と同様に、基板主面に対して傾斜したS面を利用することから、その窒素原子からガリウム原子へのボンドの数が増大することになり、実効的なV/I比を高くすることが可能であり、形成される半導体発光素子の高性能化を図ることができる。また、基板主面はC+面であり、S面は基板主面と異なる面であるために、基板から上に延びた転位が曲がることがあり、欠陥を低減することも可能となる。また、本実施例では、選択成長が窓領域43の範囲内にとどまるため、各素子のサイズを均一に制御することが容易である。基板の主面に対して傾斜した傾斜結晶面を用いることで、多重反射を防止することもでき、発生した光を効率良く素子外部に導くことができる。

#### 【0137】実施例4

本実施例は、選択マスクすなわち窓領域よりも大きなサイズで六角錐形状の結晶層を成長させて形成する半導体発光素子の例であり、図22乃至図27を参照しながら、その製造工程と共に素子構造を説明する。

【0138】基板主面をC+面とするサファイア基板50上に、前述の各実施例と同様に、低温バッファ層を形成し、その後昇温し1000°Cで第1成長層としてのシリコンドープのGa<sub>0.4</sub>N層51を形成する。その後、SiO<sub>2</sub>またはSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>を用いたマスク層52を全面に厚さ100~500nmの範囲で形成し、図22に示すように、フォトリソグラフィとフッ酸系エッチャントを用いて10μm程度の円形状の開口部からなる窓領域53をマスク層52に形成する。このときの一边の方向は1-100方向に垂直とする。この開口部の大きさは作り

たい素子の特性により変える。

【0139】次に再度、成長温度1000°CでシリコンドープのGa<sub>0.4</sub>N層54の結晶成長を行う。当初、シリコンドープのGa<sub>0.4</sub>N層54は円形の窓領域53から成長するが、しばらく成長を続けると周囲がS面(1-101)よりなる六角錐の形状を露呈してくる。成長時間が足りない場合は六角錐台形状になるが、六角錐をシリコンドープのGa<sub>0.4</sub>N層54を形成した後しばらく成長を続け、六角錐の大きさが幅20μm程度(一边が10μm程度)になった際、高さは六角錐としてその一边の1、

6倍程度となる。すると図23に示すように、16μm程度の窓領域53よりも底面が広がったシリコンドープのGa<sub>0.4</sub>N層54が形成される。なお、六角錐の大きさが幅20μm程度は例示であり、例えば六角錐の大きさを幅10μm程度とすることも可能である。

【0140】さらにシリコンドープのGa<sub>0.4</sub>Nを成長し、その後成長温度を低減し活性層となるInGa<sub>0.4</sub>N層55を成長する。その後、図24に示すように、成長温度を再び上昇させ、p型クラッド層としてのマグネシウムドープのGa<sub>0.4</sub>N層56を成長させる。その際のInGa<sub>0.4</sub>N層55の厚さは0.5nmから3nm程度である。活性層を(Al)Ga<sub>0.4</sub>N/InGa<sub>0.4</sub>Nの量子井戸層や多重量子井戸層などにすることもあり、ガイド層として機能するGa<sub>0.4</sub>NまたはInGa<sub>0.4</sub>Nを用いて多重構造とすることもある。その際、InGa<sub>0.4</sub>Nのすぐ上の層にはAlGa<sub>0.4</sub>N層を成長することが望ましい。この段階で、InGa<sub>0.4</sub>N層15やマグネシウムドープのGa<sub>0.4</sub>N層56は窓領域53の周囲のマスク層52の上まで延在され、第2成長層であるシリコンドープのGa<sub>0.4</sub>N層54の全体が被覆され、活性層であるInGa<sub>0.4</sub>N層55、マグネシウムドープのGa<sub>0.4</sub>N層56の端部が形成されないことから、活性層の劣化を未然に防止することができる。

【0141】その後、マスク層の一部を開口してGa<sub>0.4</sub>N層51を露出させ、さらにその除去した部分57にTi/Al/Pt/Au電極を蒸着する。これがn電極58となる。さらに六角錐上に成長した最表層にNi/Pt/AuまたはNi(Pd)/Pt/Auを蒸着する。この蒸着によりp電極59が完成する(図25)。これらの蒸着の際、p電極59、n電極58はそれぞれ精度よく蒸着することが必要である。その後、図26に示すように、当該発光素子をRIE(反応性イオンエッチング)またはダイサーなどで分離する。これにより本実施例による発光素子が完成する。

【0142】このような製造工程で製造された本実施例の半導体発光素子は、図27に示す素子構造を有している。その主な構成はC+面を基板主面とするサファイア基板50上に結晶種層となるシリコンドープのGa<sub>0.4</sub>N層51を介して成長した第2成長層としてのシリコンドープのGa<sub>0.4</sub>N層54を有している。このシリコンドープのGa<sub>0.4</sub>N層54は基板主面とは傾斜してなるS面に覆われた周面を有しており、窓領域53の面積より大きな底面を有するように形成されている。

【0143】さらに、本素子には、このS面に平行に延在してなる形状で活性層であるInGa<sub>0.4</sub>N層55が形成され、さらにそのInGa<sub>0.4</sub>N層55上にクラッド層としてマグネシウムドープのGa<sub>0.4</sub>N層56が形成されている。p電極59はマグネシウムドープのGa<sub>0.4</sub>N層56の上面に形成されており、n電極58は、六角錐部分の側部で開口された領域57に形成されており、シリコンドープのGa<sub>0.4</sub>N層51を介してシリコンドープのGa<sub>0.4</sub>N層

54に接続している。

【0144】このような構造を有する本実施例の半導体発光素子は、シリコンドープのGa<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>層54、InGa<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>層55及びマグネシウムドープのGa<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>層56の全部または一部が窓領域53の周囲のマスク層52上にまで延在される。このようにマスクを除去しない構造とすることなく、またマスク層52を残した状態にすれば、選択成長構造の段差が緩和され、レーザ照射などによって基板を剥がした場合でも、マスク層52が第1成長層51の支持層として機能しながらn電極58とp電極59を確実に分離して短絡を防止できる。

【0145】また、InGa<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>層55及びマグネシウムドープのGa<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>層56によって、シリコンドープのGa<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>層54の全体が被覆される構造となり、各層55、56の端部が直接マスク層52に接する構造にすることができる。したがって、各端部が直接マスク層52に接して活性層等を被覆することから、活性層の酸化などの劣化が未然に防止されることになり、さらに発光面積が増大するといった効果も得られる。

【0146】また、基板主面に対して傾斜したS面を利用することから、その窒素原子からガリウム原子へのボンドの数が增大することになり、実効的なV/I<sub>II</sub>比を高くすることが可能であり、形成される半導体発光素子の高性能化を図ることができる。また、基板主面はC<sup>+</sup>面であり、S面は基板主面と異なる面であるために、基板から上に延びた転位が曲がることがあり、欠陥を低減することも可能となる。基板の主面に対して傾斜した傾斜結晶面を用いることで、多重反射を防止することもでき、発生した光を効率良く素子外部に導くことができる。本実施例では、大きな面積の活性層に電流を注入するため、電流の均一化、電流集中の回避、および電流密度の低減を図ることができる。

#### 【0147】実施例5

本実施例は、選択マスクより大きく形成されたS面からなる六角錐形状の結晶層の頂点部分にはp電極を形成しない半導体発光素子の例であり、図28乃至図30を参照しながらその構造を説明する。

【0148】本実施例は、実施例4と同様に、基板主面をC<sup>+</sup>面とするサファイア基板50上に、前述の各実施例と同様に、低温バッファ層を形成し、その後昇温し1000°Cで第1成長層としてのシリコンドープのGa<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>層51を形成する。その後、SiO<sub>2</sub>またはSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>を用いたマスク層52を全面に厚さ100~500nmの範囲で形成し、フォトリソグラフィとフッ酸系エッチャントを用いて10μm程度の円形状の開口部からなる窓領域をマスク層52に形成する。このときの一辺の方向は1-100方向に垂直とする。この開口部の大きさは作りたい素子の特性により変える。

【0149】次に再度、成長温度1000°Cでシリコ

ンドープのGa<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>層54の結晶成長を行う。当初、シリコンドープのGa<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>層54は円形の窓領域53から成長するが、しばらく成長を続けると周囲がS面(1-101)よりなる六角錐の形状を露呈してくる。成長時間が足りない場合は六角錐台形状になるが、六角錐をシリコンドープのGa<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>層54を形成した後しばらく成長を続け、六角錐の大きさが幅20μm程度(一辺が10μm程度)になった際、高さは六角錐としてその一辺の1.6倍程度となる。16μm程度の窓領域53よりも底面が広がったシリコンドープのGa<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>層54が形成される。なお、六角錐の大きさが幅20μm程度は例示に過ぎず、例えば六角錐の大きさを幅10μm程度とすることも可能である。

【0150】さらにシリコンドープのGa<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>を成長し、その後成長温度を低減し活性層となるInGa<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>層55を成長する。その後、成長温度を再び上昇させ、p型クラッド層としてのマグネシウムドープのGa<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>層56を成長させる。これらInGa<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>層55やマグネシウムドープのGa<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>層56については実施例4と同様である。この段階で、InGa<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>層55やマグネシウムドープのGa<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>層56は窓領域53の周囲のマスク層52の上まで延在され、第2成長層であるシリコンドープのGa<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>層54の全体が被覆され、活性層であるInGa<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>層55、マグネシウムドープのGa<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>層56の端部が形成されないことから、活性層の劣化を未然に防止することができる。

【0151】基板50上のシリコンドープのGa<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>層51の一部除去した部分にTi/Al/Pt/Au電極を蒸着する。これがn電極61となる。さらに六角錐上に成長した最表層のS面部分でなおかつAFM測定の結果、ステップが十分にみられた部位を探してその部分のみに電極としてNi/Pt/AuまたはNi(Pd)/Pt/Auを蒸着する。これによりp電極62が完成する(図28)。一般に、AFMで見られたステップなどの形状からは六角錐の頂点に近い部分は比較的結晶性が悪くなっている。このため、この頂上の部分を除いてp電極62を設ける。これらの蒸着の際、p電極62、n電極61が結晶層であるシリコンドープのGa<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>層54とマスクの下に形成されたシリコンドープのGa<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>層51との双方についてしまうと短絡してしまうので、それぞれ精度よく蒸着することが必要である。その後、このデバイスをRIEまたはダイサーなどで分離する(図29)。これにより本発明による発光素子が完成する。その素子断面を図30に示す。

【0152】このような構造の半導体発光素子では、シリコンドープのGa<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>層54、InGa<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>層55及びマグネシウムドープのGa<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>層56の全部または一部が窓領域53の周囲のマスク層52上にまで延在される。このようにマスクを除去しない構造とすることなく、また成長した部分の下部の支えがなくなることなく、また

マスク層52を残した状態にすれば、選択成長構造の段差が緩和され、n電極61とp電極62を確実に分離して短絡を防止できる。

【0153】また、InGa<sub>N</sub>層55及びマグネシウムドープのGa<sub>N</sub>層56によって、シリコンドープのGa<sub>N</sub>層54の全体が被覆される構造となり、各層55、56の端部が直接マスク層に接する構造にすることができる。したがって、各端部が直接マスク層52に接して活性層等を被覆することから、活性層の酸化などの劣化が未然に防止されることになり、さらに発光面積が増大するといった効果も得られる。

【0154】また、活性層への電流注入は頂点近傍側で周囲側よりも低密度となり、結晶性の悪い部分を発光領域から外して、全体的な発光効率を高めることができる。

#### 【0155】実施例6

本実施例は、n電極を基板裏面に形成する半導体発光素子の例であり、図31乃至図37を参照しながらその構造を説明する。

【0156】実施例4と同様に、基板主面をC+面とするサファイア基板50上に、前述の各実施例と同様に、低温バッファ層を形成し、その後昇温し1000°Cで第1成長層としてのシリコンドープのGa<sub>N</sub>層51を形成する。その後、SiO<sub>2</sub>またはSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>を用いたマスク層52を全面に厚さ100~500nmの範囲で形成し、フォトリソグラフィとフッ酸系エッチャントを用いて10μm程度の円形状の開口部からなる窓領域をマスク層52に形成する。このときの一边の方向は1-100方向に垂直とする。この開口部の大きさは作りたい素子の特性により変える。

【0157】次に再度、成長温度1000°CでシリコンドープのGa<sub>N</sub>層54の結晶成長を行う。当初、シリコンドープのGa<sub>N</sub>層54は円形の開口部から成長するが、しばらく成長を続けると周囲がS面(1-101)よりなる六角錐の形状を露呈してくる。成長時間が足りない場合は六角錐台形状になるが、六角錐をシリコンドープのGa<sub>N</sub>層54を形成した後しばらく成長を続け、16μm程度の窓領域よりも底面が広がったシリコンドープのGa<sub>N</sub>層54が形成される。

【0158】さらにシリコンドープのGa<sub>N</sub>を成長し、その後成長温度を低減し活性層となるInGa<sub>N</sub>層55を成長する。その後、成長温度を再び上昇させ、p型クラッド層としてのマグネシウムドープのGa<sub>N</sub>層56を成長させる。これらInGa<sub>N</sub>層55やマグネシウムドープのGa<sub>N</sub>層56については実施例4と同様である。この段階で、InGa<sub>N</sub>層55やマグネシウムドープのGa<sub>N</sub>層56は窓領域の周囲のマスク層52の上まで延在され、第2成長層であるシリコンドープのGa<sub>N</sub>層54の全体が被覆され、活性層であるInGa<sub>N</sub>層55、マグネシウムドープのGa<sub>N</sub>層56の端部が形成されな

いことから、活性層の劣化を未然に防止することができる。

【0159】図31に示すように、n電極を形成する前に、マグネシウムドープのGa<sub>N</sub>層56の最表層のS面部分にp電極71を形成する。p電極71を形成した後、サファイア基板50の主面までRIEまたはダイサーなどで分離溝72を形成して分離し、サファイア基板50上で素子ごとに分離をする(図32)。次に、エキシマレーザー等を用いて、サファイア基板50から素子部分となる領域を除去し、残ったGaなどをエッチングで除去した後、素子側の裏面部分に最後にTi/Au/Pt/Au電極を蒸着する。図33に示すように、この電極が素子裏面に配設されたn電極73として機能する。

【0160】図34は、n電極を裏面に形成する他の方法を示すものである。この例では、サファイア基板を第2の基板77として用意し、この上に接着剤層78を介して形成される樹脂層79中に図31に示す状態の素子を埋め込む。その後、図34の(a)に示すように、サファイア基板50は、レーザアブレーションにより除去する。照射するレーザは、例えばエキシマレーザー(波長248nm)である。

【0161】次いで、表面に残存するGaを除去した後、図34の(b)に示すように、サファイア基板50を剥離した面にNiマスクなどのマスクMを形成し、例えば塩素ガス系を用いたRIEにより素子間を分離する。上記マスクMを除去した後、素子側の裏面部分にTi/Pt/AuあるいはTi/Auなどからなる電極76を形成する。

【0162】図35は完成した半導体発光素子の断面を示す。前記n電極73は光をさえぎらないようにするためなるべく角部に配設することが好ましい。また、図36は完成した半導体発光素子の一例の裏面を示す。この例では、第2成長層であるシリコンドープのGa<sub>N</sub>層54の六角の底面に応じて六角形の開口部75をn電極74に有する。このような構造によって、発光した光を有効に外部に導くことができる。

【0163】また、本実施例の一例としてn電極を透明電極とした構造とすることもできる。図37は基板から素子部分となる領域をエキシマレーザー等を用いて分離し、素子の裏面側に透明電極76を形成したところを示すものである。なお、素子部分は図35に示す構造のものと同様に、シリコンドープのGa<sub>N</sub>層51の上に残されたマスク層52の窓領域から、六角錐形状に成長した結晶部分にシリコンドープのGa<sub>N</sub>層54、InGa<sub>N</sub>層55、及びマグネシウムドープのGa<sub>N</sub>層56が形成され、最外部にp電極71が形成されている。透明電極76は基板の剥がされたシリコンドープのGa<sub>N</sub>層51の裏面にリフトオフなどによって形成されたITO(Indium Tin Oxide)などの材料層であ

る。

【0164】図38は完成した透明電極76を備えた半導体発光素子を示す断面図である。このような構造とすることで、シリコンドープのGaN層54及びマグネシウムドープのGaN層56に挟まれた活性層としてのInGaN層55から発生した光は透明電極76を透過して射出する。図38の半導体発光素子は、その構造上、マスク層52が残存するため、横方向に成長した部分の下部の支えがなくなることなく、選択成長構造の段差が緩和され、レーザ照射などによって基板を剥がした場合でも、p電極71と透明電極76の短絡などの問題は生じない。更に、活性層から発生した光は透明電極76を透過して射出することから、電極を光路を避けるように形成する必要はなく、製造上も容易に形成でき、また、シリコンドープのGaN層51の裏面から光を取り出すことで、傾斜した結晶面で反射した光も出力され、光の取出し効率が改善される。また、p電極71は六角錐の頂点側に配設されることから、透明電極76はシリコンドープのGaN層51の裏面に比較的広い面積で形成することができる。このため、透明電極76の接触抵抗を下げることができ、同時にn電極取り出しのためのマスク層の加工は不要であるため、当該素子は容易に製造できることとなる。

#### 【0165】実施例7

本実施例は、帯状の窓領域を形成して選択成長させる半導体発光素子の例であり、図39乃至図42を参照しながらその構造を説明する。

【0166】図39に示すように、基板主面をC+面とするサファイア基板80上に、まず500°Cの低温でAlNまたはGaNのいずれかのバッファ層を形成する。その後昇温し1000°CにしてシリコンドープのGaN層81を形成する。その後、SiO<sub>2</sub>またはSiNを用いたマスク層82を全面に厚さ100~500nmの範囲で形成し、フォトリソグラフィとフッ酸系エッチャントを用いて10μm×50μm程度の矩形状の開口部からなる窓領域83を形成する。このときの長辺の方向は1-100方向にとる。その後もう一度結晶成長を行うが、このときは1000°C程度に上昇し、シリコンドープのGaN層84を形成する。シリコンドープのGaN層84はマスクの窓領域83に成長するが、しばらく成長を続けると図40に示す船底の如き形状を露呈してくる。その際突条の六角錐の表面はS面と11-22面で覆われるようにする。

【0167】少なくとも十分な時間が経過して最上部のC面がほぼ平らになり或いはなくなったところで、さらにシリコンドープのGaN層を形成する。その後成長温度を低減して、活性層となるInGaN層85を成長する。次いで成長温度を再び上昇させ、p型クラッド層としてのマグネシウムドープのGaN層86を成長させる。その際のInGaN層85の厚さは0.5nmから

3nm程度である。さらに前述の実施例1、2と同様に、活性層を(A1)GaN/InGaNの量子井戸層や多重量子井戸層などにもすることもあり、ガイド層として機能するGaNまたはInGaNを用いて多重構造とすることもある。その際、InGaNのすぐ上の層にはAlGaN層を成長することが望ましい点は、前述の実施例1、2と同様である。

【0168】その後、マスク層の一部を開口してGaN層81を露出させ、さらにその除去した部分にTi/Al/Pt/Au電極を蒸着する。これがn電極87となる。さらに六角錐上に成長した最表層にNi/Pt/AuまたはNi(Pd)/Pt/Auを蒸着する。この蒸着によりp電極88が完成する(図41)。これらの蒸着の際、p電極88、n電極87はそれぞれ精度よく蒸着することが必要である。その後、当該発光素子をRIE(反応性イオンエッチング)またはダイサーなどで分離して、本実施例による発光素子が完成する。

【0169】このような製造工程で製造された本実施例の発光素子は、図42に示す素子構造を有しており、S面だけではなく、11-22面も形成されたシリコンドープのGaN層84を有している。このような構造とすることで、広く領域で活性領域を構成することが可能となり、従って、電流の均一化、電流集中の回避、および電流密度の低減を図ることができる。

#### 【0170】実施例8

本実施例は、選択マスクすなわち窓領域よりも大きなサイズで六角錐台形状の結晶層を成長させて形成する半導体発光素子の例であり、図43乃至図48を参照しながら、その製造工程と共に素子構造を説明する。

【0171】基板主面をC+面とするサファイア基板90上に、前述の各実施例と同様に、低温バッファ層を形成し、その後昇温し1000°CでシリコンドープのGaN層91を形成する。その後、SiO<sub>2</sub>またはSiNを用いたマスク層92を全面に厚さ100~500nmの範囲で形成し、図43に示すように、フォトリソグラフィとフッ酸系エッチャントを用いて10μm程度の円形状の開口部からなる窓領域93をマスク層92に形成する。この開口部の大きさは作りたい素子の特性により変える。

【0172】次に再度、成長温度1000°CでシリコンドープのGaN層94の結晶成長を行う。当初、シリコンドープのGaN層94は円形の窓領域93から成長するが、しばらく成長を続けると周囲がS面(1-101)よりなり且つ上面が基板主面と平行なC面を有する六角錐台の形状を露呈してくる。十分な時間だけ結晶成長を行い、上面のC面が平坦に広がった形状にシリコンドープのGaN層94の形状を制御する(図44)。この上面が平坦な六角錐台の形状は、前述の六角錐形状のものと比較して短い時間で形成することができる。

【0173】さらにシリコンドープのGaNを成長し、

その後成長温度を低減し活性層となるInGa<sub>N</sub>層95を成長する。その後、図45に示すように、成長温度を再び上昇させ、p型クラッド層としてのマグネシウムドープのGa<sub>N</sub>層96を成長させる。その際のInGa<sub>N</sub>層95の厚さは0.5nmから3nm程度であり、量子井戸層や多重量子井戸層などを形成しても良い。ガイド層なども形成できる点は前述の各実施例と同様である。

【0174】その後、マスク層の一部を開口してGa<sub>N</sub>層91を露出させ、さらにその除去した部分97にTi/Al/Pt/Au電極を蒸着する。これがn電極98となる。さらに六角錐上に成長した最表層にNi/Pt/AuまたはNi(Pd)/Pt/Auを蒸着する。この蒸着によりp電極99が完成する(図46)。これらの蒸着の際、p電極99、n電極98はそれぞれ精度よく蒸着することが必要である。その後、図47に示すように、当該発光素子をRIE(反応性イオンエッチング)またはダイサーなどで分離する。これにより本実施例による発光素子が完成する。

【0175】このような製造工程で製造された本実施例の発光素子は、図48に示す素子構造を有している。その主な構成はC+面を基板主面とするサファイヤ基板90上に形成されるシリコンドープのGa<sub>N</sub>層94は、上面が平坦な六角錐台形状であり、結晶状態の良くない頂点部を初めから形成しない構造となっている。従って、発光特性における損失を未然に防止することが可能であり、しかも、六角錐台形状は比較的短時間で形成できるために、プロセス上も有利である。

【0176】また、シリコンドープのGa<sub>N</sub>層94、InGa<sub>N</sub>層95及びマグネシウムドープのGa<sub>N</sub>層96の全部または一部が窓領域93の周囲のマスク層92上にまで延在され、マスクを除去しない構造とするため、選択成長構造の段差が緩和され、n電極98とp電極99を確実に分離して短絡を防止できる。また、InGa<sub>N</sub>層95及びマグネシウムドープのGa<sub>N</sub>層96の端部が直接マスク層92に接する構造にすることができる。したがって、各端部が直接マスク層92に接して活性層等を被覆することから、活性層の酸化などの劣化が未然に防止されることになり、さらに発光面積が増大するといった効果も得られる。

【0177】図49および図50は六角錐台形構造の半導体発光素子の他の構造例を示す。図49は該素子の電極形成工程を示す図である。図49および図50に示す半導体発光素子は図48の半導体発光素子の変形例であり、サファイヤ基板90をエキシマレーザなどの照射によって除去し、シリコンドープのGa<sub>N</sub>層91の裏面にn電極98bを形成した例である。上面が平坦な六角錐台形状の成長層の領域には、シリコンドープのGa<sub>N</sub>層94、InGa<sub>N</sub>層95及びマグネシウムドープのGa<sub>N</sub>層96の全部または一部が窓領域の周囲のマスク層92上にまで延在され、その最外部にはp電極99が形

成されている。

【0178】この図49および図50に示す構造例においては、n電極98bがシリコンドープのGa<sub>N</sub>層91の裏面に光の取出し部となるマスク層92の窓領域の直下を外しながら形成されている。このような構造にすることで、半導体発光素子のサイズを小さくすることができ、また、マスク層92を開口してコンタクト領域を形成する必要もないため、容易に製造できると共に微細化に好適である。なお、この六角錐台形構造の半導体発光素子においても、n電極98bの代わりにITO膜などからなる透明電極を形成することができ、コンタクト面積を広くとることができるため、さらに製造が容易となる。

#### 【0179】実施例9

本実施例は、p電極を基板表面の面積を大きく占めるように形成した半導体発光素子の例であり、図51を参照しながらその構造を説明する。

【0180】この半導体発光素子は、実施例6とマグネシウムドープのGa<sub>N</sub>層56を成長するところまでは同じ成長方法をとる。従って、そこまでの各部分については同じ参照符号を与え、その重複した説明は省略する。n電極100はサファイヤ基板50の側部のマスク層52を開口した領域に、Ti/Al/Pt/Au電極を蒸着することで形成される。このn電極100は複数の六角錐からなる領域に電流を供給することができるものである。また、Ni/Pt/AuまたはNi(Pd)/Pt/Au電極を蒸着してp電極101を形成する。このp電極101も広い範囲を覆うため、一つの素子で高出力を得る素子を得ることができる。これらの各素子に同電位を与えることで、照明装置として使用することができ、またp電極101を個別に形成して独立した信号を供給して、画像表示装置として使用することもできる。各素子を3原色に対応したものとすることで、多色やフルカラーの画像表示装置を構成できる。なお、各半導体発光素子は同じものを配列させて構成することができるが、他の方法で作成した各半導体発光素子を部分的に混ぜ合わせて画像表示装置又は照明装置を構成しても良い。

【0181】シリコンドープのGa<sub>N</sub>層54、InGa<sub>N</sub>層55及びマグネシウムドープのGa<sub>N</sub>層56の全部または一部が窓領域53の周囲のマスク層52上にまで延在され、マスクを除去しない構造とするため、選択成長構造の段差が緩和され、n電極100とp電極101を確実に分離して短絡を防止できる。また、InGa<sub>N</sub>層55及びマグネシウムドープのGa<sub>N</sub>層56の端部が直接マスク層52に接する構造にすることができる。したがって、各端部が直接マスク層52に接して活性層等を被覆することから、活性層の酸化などの劣化が未然に防止されることになり、さらに発光面積が増大するといった効果も得られる。



## 【0182】実施例10

本実施例は、前述の実施例で得られた半導体発光素子を単純マトリックス方式となるように配列して配線することで、画像表示装置又は照明装置を構成したものである。図52は、そのような画像表示装置又は照明装置の実施例であり、各半導体発光素子は基板120上に、赤色発光領域、青色発光領域及び緑色発光領域の部分が直線状に並ぶように配列されていて、赤色発光領域、青色発光領域及び緑色発光領域のp電極124に電流を供給するための配線126R、126G、126Bが配されている。なお、n電極122は共通とされ、必要に応じて画素ごとの制御を行うための選択トランジスタなども形成される。基板120上にはマスク層125が除去されずに残されており、その下部のシリコンドープのGaN層121との段差を緩和する構造とされている。

【0183】このような画像表示装置又は照明装置には、赤色発光領域、青色発光領域及び緑色発光領域として機能する第1乃至第3発光波長領域がそれぞれ活性層に形成された構造を有している。各配線126R、126G、126Bに独立した信号を与えることで、画像表示装置として2次元の画像を表示することが可能であり、各配線126R、126G、126Bに同信号を与えることで、照明装置として利用することもできる。

【0184】なお、上述の各実施例中、サファイヤ基板上に低温バッファ層を形成してから、GaN層を成長させ、その後に選択マスクを形成して選択成長を行う方法について説明したが、これに限定されず、サファイヤ基板上に積層するだけでなく、Si上に直接約900℃でGaN層を形成したり、SiC上に1000℃でAlNを5nm成長させた後GaNを成長させたり、GaN基板を使用してその後選択マスクを形成することでも良い。

## 【0185】実施例11

本実施例の半導体発光素子は、例えばC(0001)面サファイヤ基板の如き成長基板131上にn型GaN層からなる下地成長層132をMOCVD(MOVPE)法などにより結晶成長し、シリコン酸化膜、シリコン窒化膜、あるいはタングステン膜などからなる成長阻害膜としてのマスク層133を形成する。

【0186】このマスク層133には六角形状の開口部である窓領域134が形成され、その窓領域134から選択成長によって形成された断面三角形形状の結晶成長層135が形成されている。この結晶成長層135は例えばn型GaN層やAlGaN層からなり、その断面は略正三角形形状となるが、上から見た場合には六角形であり、全体としては六角錐の形状を有する。

【0187】結晶成長層135の基板主面に対して傾斜した結晶表面はS面またはS面と等価な面を有しており、結晶成長層135の最外部の濃度などを調整して形成されたn型クラッド層の上に活性層136及びp型ク

ラッド層として機能する第2導電層137が積層されている。これら活性層136及びp型クラッド層として機能する第2導電層137は結晶成長層135のS面を被覆するように形成されており、活性層136は選択成長により形成された結晶成長層135のS面に沿って成長基板131の主面に平行でなく延在されている。第2導電層137は例えばp型GaN層やAlGaN層からなる。活性層136上にはいわゆるAlGaN層を形成しても良い。

【0188】第2導電層137上には、p電極として機能する第2電極139が例えばNi/Pt/AuまたはNi(Pd)/Pt/Auなどの多層金属膜によって構成されており、n電極として機能する第1電極138が例えばTi/Al/Pt/Auなどの多層金属膜によってマスク層133を開口した部分に形成されている。第1電極138および第2電極139は例えば蒸着やリフトオフなどの手法を用いて形成される。

【0189】本実施例の半導体発光素子は、その活性層136の面積が大きいことから、活性層136に注入される電流密度を緩和させることが可能であるが、特に活性層6は結晶成長層135のS面に沿って成長基板131の主面に平行でなく延在されているために、その活性層136の面積Sは十分な広がりをもって形成されている。まず、活性層6の面積Sが最も大きい場合には、図53に示すように、活性層136の面積Sを第1電極138の面積S2と結晶成長層135を基板主面に写像した写像面積S1の和(S1+S2)よりもさらに大きな面積を有しているものとすることができる。

【0190】例えば、本実施例に素子が30μm角の発光ダイオード素子である場合には、第1電極と第1導電層である下地導電層が接触する領域すなわちS2は20μm×5μm程度(100μm程度)、活性層を配置した写像領域S1は大きくとも20μm角程度の(400μm程度)である。一方、選択成長により形成された結晶成長層5に底辺が20μm角で斜面の角度45°の四角錐を形成し、活性層136がその斜面に均一に形成されると、活性層6の総面積は20μm×20μm/cos45°=566μm<sup>2</sup>となり、S面を用いた六角錐形状の場合(角度約62°)には更に活性層の面積Sが増大する。

【0191】図54と図55は輝度飽和を緩和する目的で活性層136の面積Sを拡大した場合には、それぞれ窓領域133の面積W1(図54参照)や結晶成長層の基板主面への法線ベクトル方向への写像面積W2(図55参照)より大きくなることを示したものであり、前述のように活性層136が結晶成長層135のS面に沿って成長基板131の主面に平行でなく延在される場合には、その活性層136の面積Sは、面積W1や写像面積W2よりは大きくなり、十分な広がりをもって形成されている。従って、有効に輝度飽和を緩和することができ、素子の信頼性を改善できる。

【0192】図53の素子構造の半導体発光素子では、活性層の面積拡大による効果に加えて、基板主面に対して傾斜したS面を利用することから、その窒素原子からガリウム原子へのボンドの数が増大することになり、実効的なV/I II比を高くすることが可能であり、形成される半導体発光素子の高性能化を図ることができる。また、基板から上に延びた転位が曲がることもあり、欠陥を低減することも可能となる。さらに、基板の主面に対して傾斜した傾斜結晶面を用いることで、多重反射を防止することもでき、発生した光を効率良く素子外部に導くことができる。また、活性層136が島状に分離している構造をとるため、活性層136をエッチングすることの必要がなくなる。したがって活性層に対して余計なダメージがなくなる。また、電極によって活性層136の有効面積が小さくなることもないという利点も得られる。

#### 【0193】実施例12

本実施例は、ストライプ状の結晶成長層154を成長基板150上に形成する例であり、図56に示すように、成長基板150上形成された下地成長層151上のマスク層152の窓領域からストライプ状の結晶成長層154が形成されている。ストライプ状の結晶成長層154はその側面156がS面とされ、傾斜した側面156にも活性層155が延在されていることから、活性層155の面積は結晶成長層154の写像面積よりも大きなサイズとなる。従って、有効に輝度飽和を緩和することができ、素子の信頼性を改善できる。

#### 【0194】実施例13

本実施例は、長方台形状の結晶成長層164を成長基板160上に形成する例であり、図57に示すように、成長基板160上形成された下地成長層161上のマスク層162の窓領域からストライプ状で且つ長方台形状の結晶成長層164が形成されている。長方台形状の結晶成長層164はその側面163SがS面とされ、長手方向の端部の面164は(11-22)面とされる。結晶成長層164の上面163Cは基板主面と同じC面とされる。活性層は図示を省略しているが、傾斜した側面163S、面164、上面163Cにも延在され、活性層の面積は結晶成長層164の写像面積よりも大きなサイズとなる。従って、有効に輝度飽和を緩和することができ、素子の信頼性を改善できる。

#### 【0195】実施例14

本実施例は、図58に示すように、四角台形状の結晶成長層174を成長基板170上に形成する例であり、成長基板170上形成された下地成長層171上のマスク層172の窓領域からマトリクス状に配列されたパターンで四角錐台形状の結晶成長層173が形成されている。四角錐台形状の結晶成長層173はその傾斜した一側面173SがS面とされ、他の傾斜した一側面174は(11-22)面とされる。結晶成長層173の上面

173Cは基板主面と同じC面とされる。活性層は図示を省略しているが、傾斜した側面173S、面174、上面173Cにも延在され、活性層の面積は結晶成長層173の写像面積よりも大きなサイズとなる。従って、有効に輝度飽和を緩和することができ、素子の信頼性を改善できる。

#### 【0196】実施例15

本実施例は、図59に示すように、六角錐形状の結晶成長層183を成長基板180上に形成する例であり、成長基板180上形成された下地成長層181上のマスク層182の窓領域からマトリクス状に配列されたパターンで六角錐形状の結晶成長層183が形成されている。六角錐形状の結晶成長層183はその傾斜した各側面がS面とされ、活性層は図示を省略しているが、その断面は図52のようになり、傾斜した各S面に沿って延在され、活性層の面積は結晶成長層183の写像面積よりも大きなサイズとなる。従って、有効に輝度飽和を緩和することができ、素子の信頼性を改善できる。

#### 【0197】実施例16

本実施例は、図60に示すように、六角錐台形状の結晶成長層193を成長基板190上に形成する例であり、成長基板190上形成された下地成長層191上のマスク層192の窓領域からマトリクス状に配列されたパターンで六角錐台形状の結晶成長層193が形成されている。六角錐台形状の結晶成長層193はその傾斜した各側面193SがS面とされ、上面193Cが基板主面と同じC面とされている。また、六角錐形状の結晶成長層193の底面側にはM面(1-100)面も低い高さで形成される。活性層は図示を省略しているが、その断面は図52のようになり、傾斜した各S面およびC面に沿って延在され、活性層の面積は結晶成長層193の写像面積よりも大きなサイズとなる。従って、有効に輝度飽和を緩和することができ、素子の信頼性を改善できる。

#### 【0198】実施例17

本実施例は図53に示した半導体発光素子を製造する方法であり、図61乃至図66を参照してその製造方法を工程順に説明する。

【0199】図61に示すように、サファイヤ基板などの成長基板200上に、n型GaN層201を下地成長層として例えばMOCVD法などにより形成する。このとき、n型GaN層201は最初からn型である必要はなく、最上面がn型であれば良い。一例として、シリコンをドーピングすることでn型のGaN層201を形成することができる。

【0200】次に図62に示すように、CVDなどによりシリコン酸化膜、シリコン窒化膜、あるいはタンゲステン膜などからなる成長阻害膜としてのマスク層202をn型のGaN層201上の全面に形成し、さらに素子を形成する領域に対応してマスク層202を除去して六角形状の窓領域203を複数形成する。



【0201】続いて、図63に示すように、選択成長が行われ、窓領域203から結晶成長により結晶成長層であるn型(A1)GaN層204が形成される。このn型(A1)GaN層204はクラッド層としても機能し、略六角錐形状を呈する。傾斜した側面はS面とされる。

【0202】この傾斜した側面に対してさらに活性層となるInGaN層205とp型(A1)GaN層206を図64のように積層する。活性層となるInGaN層205は結晶成長層である(A1)GaN層204のS面に沿って成長基板200の主面に平行でなく延在され、その活性層の面積Sは、窓領域203の面積や結晶成長層の写像面積よりは大きくなり、十分な広がりをもって形成される。InGaN層205上にはAlGaN層を形成しても良い。

【0203】次に図65に示すように、マスク層上に例えばpoly-GaNが成長した場合には余分な部分をエッチングで除去し、マスク層202を全部または一部除去してn側のコンタクト領域207を形成する。次いで、蒸着などによりp電極209となるNi/Pt/AuやNi(Pd)/Pt/Auなど、n電極78となるTi/Al/Pt/Auなどをコンタクト領域207にリフトオフなどにより形成し(図66)、アロイ化することで基板上における素子が完成する。

【0204】この後、素子間の分離が必要な場合、基本構造のサイズが前述のように陰に小さいことから、それぞれの分離は困難であるが、素子の基本構造を1次元あるいは2次元配列した領域をダイシングやへき開などにより分離するだけでもよい。内部の基本構造は各々独立に駆動してもしなくてもよい。また、サファイア上に結晶成長したGaN結晶は、サファイア/GaN界面をUVレーザのサファイア側からのアブレーションによりサファイア基板から剥離できるという報告(APL-75-10, 1360-2, W. S. Wong etc.)もある。これを利用すればアブレーション前か後にエッチングにより一回目の成長膜(第1導電膜)を分離することで、本発明の基本構造を単一の半導体発光素子とすることができる。

【0205】このように本実施例の半導体発光素子の製造方法では、選択成長によりS面が容易に形成され、そのS面を側面とする結晶成長層に活性層を形成することで、大きい面積の活性層を得ることができる。

#### 【0206】実施例18

図67に実施例18の半導体発光素子の構造を示す。成長基板210上に部分的に第2成長層211が形成され、該第2成長層211を覆うように第1導電層211、活性層213、第2導電層219が形成される。本例ではマスク層と窓領域を有していないが、選択成長により、活性層213の面積は結晶成長層の写像面積よりも大きなサイズとなる。従って、有効に輝度飽和を緩和することができ、素子の信頼性を改善できる。すなわち、マスク層などの成長障害膜を用いない場合でも、エ

ッチングなどにより成長基板や一度成長した結晶膜に凹凸を形成するなどの微細加工により、結晶成長することと同様の安定面を形成でき、同等の効果をえられる。

【0207】なお、本発明においては、窓領域として六角錐を形成するには六角形開口がもっとも望ましいが、円形開口においても最終的には安定面が自己形成されるため、開口形状や境界の方向は任意でかまわない。またウルツ鉱型結晶では、(1-101)面以外にも(11-22)面や(1-100)面などの安定面があり、これらを自己形成した構造についても本発明を適用できる。

【0208】現在赤色LED材料として一般的なAlGaInP系化合物はせん亜鉛型結晶であるが、(001)基板に対して(011)面、(111)面、(11-1)面などの安定面があり、適当な条件で成長することにより、その安定面とその上の活性層を形成することは可能である。

#### 【0209】実施例19

本実施例の半導体発光素子は、図68に示すように、例えばC(0001)面サファイア基板の如き成長基板221上にn型GaN層からなる下地成長層222をMOVPE(MOVPE)法などにより結晶成長する。

【0210】下地成長層222の形成後、シリコン酸化膜、シリコン窒化膜、あるいはタングステン膜などからなる成長障害膜としてのマスク層223を形成する。このマスク層223には六角形状の開口部である窓領域224が形成され、その窓領域224から選択成長によって形成された断面三角形形状の結晶成長層225が形成されている。この結晶成長層225は例えばn型GaN層やAlGaN層からなり、その断面は略正三角形形状となるが、上から見た場合には六角形であり、全体としては六角錐の形状を有する。

【0211】結晶成長層225の基板主面に対して傾斜した結晶表面はS面またはS面と等価な面を有しており、結晶成長層225の最外部の濃度などを調整して形成されたn型クラッド層の上に活性層226及びp型クラッド層として機能する第2導電層227が積層されている。これら活性層226及びp型クラッド層として機能する第2導電層227は結晶成長層225のS面を被覆するように形成されており、活性層226は選択成長により形成された結晶成長層225のS面に沿って成長基板221の主面に平行でなく延在されている。第2導電層227は例えばp型GaN層やAlGaN層からなる。活性層226上にはいわゆるAlGaNキャップ層を形成しても良い。本実施例においては、第2導電層227の表面が次に形成する第2電極との界面となり、この界面が活性層226で発生した光の反射面240とされる。

【0212】第2導電層227上には、図68においてその図示を省略しているが、p電極として機能する第2電極が例えばNi/Pt/Auなどの多層金属膜によって構成され、n電極として機能する第1電極が例えばT

i/AI/Pt/Auなどの多層金属膜によってマスク層を開口した部分に形成される。第1電極および第2電極は例えば蒸着やリフトオフなどの手法を用いて形成される。

【0213】本実施例の半導体発光素子は、出力として取り出される光の一部は選択成長によって形成された傾斜結晶面と平行に延在された反射面240で反射したものであり、反射によって光取り出し効率が向上することから、当該半導体発光素子の高輝度化を図ることができる。また、反射面240の基礎となる傾斜結晶面は選択成長を利用してプロセス上容易に形成されることから、自己形成的に特にエッチングなどの工程を追加しなくとも得ることができる。

【0214】図69は半導体発光素子の要部を示す断面図である。この図においては、成長基板221を裏面からのエキシマレーザーの照射などによって取り外した構造となっており、下地成長層222の底面が光取り出し窓228として機能する。なお、下地成長層222はシリコンなどがドーパされたGaN層であり、図示を省略しているがn電極に接続される。図68に示すように、活性層226から第2導電層227側に出力された光は反射面240で反射し、光取り出し窓228から射出する。また、活性層226から光取り出し窓228に対して射出し、光取り出し窓228の面で全反射した場合でも、反対側の反射面240で反射した時点で光路が入射角に対する反射角の関係で変換され、再度光取り出し窓228に入射した際に臨界角を超えていなければ光取り出し窓228から射出する。

【0215】これについて詳述すると、素子内部の屈折率は外部の屈折率より大きいため、界面に対して浅い角度の光は全反射する。ここで全反射条件は次式のとおりである。

$$\phi_c = \sin^{-1}(n_1/n_2)$$

【0217】(ただし、 $\phi_c$ は界面への入射の臨界角、 $n_1$ 、 $n_2$ は外部、内部の屈折率であり、 $n_1=1$ 、 $n_2=2.4$ において $\phi_c=24.6^\circ$ である。)

【0218】活性層で発生した光は図88に示す構造においては、光取り出し窓領域において一度全反射によって出なかった光は全反射しつづけるため、二度と外部に取り出せないが、本実施例では斜め反射面240をもつために一度全反射した光のうち、次に別の角度を持った反射面に当たったときに光路が変換されて別の方向に反射する。そのため光取り出し窓228の領域で全反射条件ではなくなる場合が発生するので光が外部に取り出される。したがってその分の取り出し効率が向上し、輝度が大きくなる。このように本実施例の半導体発光素子においては、確実に光取り出し効率が改善され、素子の高輝度化をすすめることができる。

【0219】図70乃至図74は反射面の効果についてシミュレーションしたものを示す図であり、図70は計

算の元になる結晶成長層のモデルを示す斜視図であり、図71は角度依存性を計算するためのモデルを示す図であり、図72は光取り出し効率の角度依存性を示す図であり、図73は高さ依存性を計算するためのモデルを示す図であり、図74は光取り出し効率の高さ依存性を示す図である。

【0220】このシミュレーションにおいては、図70に示すように、頂点部分には平坦なC面からなる面が形成され、簡単のため結晶成長層に形成される活性層を成長基板に対して平行に延在されるものとしているが、光取り出し効率に対して本質的な違いはない。まず、図71に示すように、角度依存性として、基板を屈折率 $n=1.65$ のサファイヤ基板とし、活性層が基板上 $5\mu\text{m}$ の高さに $20\mu\text{m}$ 幅で存在し、結晶成長層は屈折率 $n=2.4$ 、反射面の反射率70%で高さ $10\mu\text{m}$ と設定し、ここで反射面が形成される角度について計算を行った。すると、結果は図72に示すようになっており、角度が50乃至90度の範囲においては、50度に近い側の角度でより光取り出し効率が改善されていることがわかる。

【0221】また、図73に示すように、高さ依存性として、基板を屈折率 $n=1.65$ のサファイヤ基板とし、活性層が高さ $d/2$ の位置で基板 $20\mu\text{m}$ 幅で存在し、結晶成長層は屈折率 $n=2.4$ 、反射面の反射率70%と設定し、ここで反射面(S面)が形成される角度は62度と設定して計算を行った。すると、結果は図74に示すようになっており、高さ $d$ が高くなるほどより光取り出し効率が改善されていることがわかる。すなわち、これら図72と図74に示すシミュレーションの結果から側面の角度 $\theta$ を小さくすると光取り出し効率が改善し、素子の幅に対する高さ $d$ が大きい(アスペクト比が大きい)ほど光取り出し効率改善する傾向にあることがわかる。これは言い換えると、小さいサイズであれば成長時間が少なく済み、半導体発光素子の素子サイズが小さいほど効果的である。

【0222】本実施例の半導体発光素子は、出力として取り出される光の一部は傾斜結晶面と平行に延在された反射面240で反射したものであり、その反射面240での反射によって光取り出し効率が向上することから、当該半導体発光素子の高輝度化を図ることができる。また、反射面240の基礎となる傾斜結晶面は選択成長を利用してプロセス上容易に形成されることから、自己形成的に特にエッチングなどの工程を追加しなくとも得ることができる。

【0223】図68の素子構造の半導体発光素子では、活性層の面積拡大による効果に加えて、基板主面に対して傾斜したS面を利用することから、その窒素原子からガリウム原子へのボンドの数が増大することになり、実効的なV/III比を高くすることが可能であり、形成される半導体発光素子の高性能化を図ることができる。

また、基板から上に延びた転位が曲がることがあり、欠陥を低減することも可能となる。さらに、基板の主面に対して傾斜した傾斜結晶面を用いることで、多重反射を防止することもでき、発生した光を効率良く素子外部に導くことができる。また、活性層226が島状に分離している構造をとるため、活性層226をエッチングすることの必要がなくなる。したがって活性層に対して余計なダメージがなくなる。また、電極によって活性層226の有効面積が小さくなることもないという利点も得られる。

#### 【0224】実施例20

本実施例は、ストライプ状の結晶成長層254を成長基板250上に形成する例であり、図75に示すように、成長基板250上形成された下地成長層251上のマスク層252の窓領域からストライプ状の結晶成長層254が形成されている。ストライプ状の結晶成長層254はその側面256がS面とされ、傾斜した側面256にも活性層255が延在されている。当該半導体発光素子から取り出される光はS面と平行に延在された反射面で反射することになり、その反射面での反射によって光取り出し効率が向上することから、当該半導体発光素子の高輝度化を図ることができ、反射面の基礎となる傾斜結晶面は選択成長を利用してプロセス上容易に形成される。また、有効に輝度飽和を緩和することができ、素子の信頼性を改善できる。

#### 【0225】実施例21

本実施例は、長方形状の結晶成長層264を成長基板260上に形成する例であり、図76に示すように、成長基板260上形成された下地成長層261上のマスク層262の窓領域からストライプ状で且つ長方形状の結晶成長層264が形成されている。長方形状の結晶成長層264はその側面263SがS面とされ、長手方向の端部の面264は(11-22)面とされる。結晶成長層264の上面263Cは基板主面と同じC面とされる。活性層は図示を省略しているが、傾斜した側面263S、面264、上面263Cにも延在され、当該半導体発光素子から取り出される光はS面と平行に延在された反射面で反射することになる。本実施例においては、半導体発光素子の反射面での反射によって光取り出し効率が向上することから、当該半導体発光素子の高輝度化を図ることができ、反射面の基礎となる傾斜結晶面は選択成長を利用してプロセス上容易に形成される。また、有効に輝度飽和を緩和することができ、素子の信頼性を改善できる。

#### 【0226】実施例22

本実施例は、図77に示すように、四角台形状の結晶成長層274を成長基板270上に形成する例であり、成長基板270上形成された下地成長層271上のマスク層272の窓領域からマトリクス状に配列されたパターンで四角錐台形状の結晶成長層273が形成されてい

る。四角錐台形状の結晶成長層273はその傾斜した一側面273SがS面とされ、他の傾斜した一側面274は(11-22)面とされる。結晶成長層273の上面2753Cは基板主面と同じC面とされる。活性層は図示を省略しているが、傾斜した側面273S、面274、上面273Cにも延在され、当該半導体発光素子から取り出される光はS面と平行に延在された反射面で反射することになり、その反射面での反射によって光取り出し効率が向上する。従って、当該半導体発光素子の高輝度化を図ることができ、反射面の基礎となる傾斜結晶面は選択成長を利用してプロセス上容易に形成される。また、有効に輝度飽和を緩和することができ、素子の信頼性を改善できる。

#### 【0227】実施例23

本実施例は、図78に示すように、六角錐形状の結晶成長層283を成長基板280上に形成する例であり、成長基板280上形成された下地成長層281上のマスク層282の窓領域からマトリクス状に配列されたパターンで六角錐形状の結晶成長層283が形成されている。六角錐形状の結晶成長層283はその傾斜した各側面がS面とされ、活性層は図示を省略しているが、その断面は図67のようになり、傾斜した各S面に沿って延在され、当該半導体発光素子から取り出される光はS面と平行に延在された反射面で反射することになり、その反射面での反射によって光取り出し効率が向上することから、当該半導体発光素子の高輝度化を図ることができ、反射面の基礎となる傾斜結晶面は選択成長を利用してプロセス上容易に形成される。また、有効に輝度飽和を緩和することができ、素子の信頼性を改善できる。

#### 【0228】実施例24

本実施例は、図79に示すように、六角錐台形状の結晶成長層293を成長基板290上に形成する例であり、成長基板290上形成された下地成長層291上のマスク層292の窓領域からマトリクス状に配列されたパターンで六角錐台形状の結晶成長層293が形成されている。六角錐台形状の結晶成長層293はその傾斜した各側面293SがS面とされ、上面293Cが基板主面と同じC面とされている。また、六角錐形状の結晶成長層293の底面側にはM面(1-100)面も低い高さで形成される。活性層は図示を省略しているが、その断面は図67のようになり、傾斜した各S面およびC面に沿って延在され、当該半導体発光素子から取り出される光はS面と平行に延在された反射面で反射することになり、その反射面での反射によって光取り出し効率が向上することから、当該半導体発光素子の高輝度化を図ることができ、反射面の基礎となる傾斜結晶面は選択成長を利用してプロセス上容易に形成される。また、有効に輝度飽和を緩和することができ、素子の信頼性を改善できる。

## 【0229】実施例 25

本実施例は、図 80 に示すように、六角錐形状の結晶成長層 298 と四角台形状の結晶成長層 299 を成長基板 295 上に形成する例であり、成長基板 295 上形成された下地成長層 296 上のマスク層 297 の窓領域からマトリクス状に配列されたパターンで四角錐台形状の結晶成長層 299 と六角錐形状の結晶成長層 298 とが交互にそれぞれの形状が一行に並ぶように形成されている。四角錐台形状の結晶成長層 299 はその傾斜した一側面 299S が S 面とされ、他の傾斜した一側面 299Z は (11-22) 面とされる。結晶成長層 299 の上面 299C は基板主面と同じ C 面とされる。六角錐形状の結晶成長層 298 はその傾斜した各側面 298S が S 面とされる。活性層は図示を省略しているが、その断面は図 67 のようになり、傾斜した各 S 面および C 面に沿って延在され、当該半導体発光素子から取り出される光は S 面と平行に延在された反射面で反射することになり、その反射面での反射によって光取り出し効率が向上することから、当該半導体発光素子の高輝度化を図ることができる。また、反射面の基礎となる傾斜結晶面は選択成長を利用してプロセス上容易に形成される。また、有効に輝度飽和を緩和することができ、素子の信頼性を改善できる。

## 【0230】実施例 26

本実施例は前述の半導体発光素子を製造する方法であり、図 81 乃至図 86 を参照してその製造方法を工程順に説明する。

【0231】図 81 に示すように、サファイヤ基板などの成長基板 300 上に、n 型 GaN 層 301 を下地成長層として例えば MOCVD 法などにより形成する。このとき、n 型 GaN 層 301 は最初から n 型である必要はなく、最上面が n 型であれば良い。一例として、シリコンをドーピングすることで n 型の GaN 層 301 を形成することができる。

【0232】次に図 82 に示すように、CVD などによりシリコン酸化膜、シリコン窒化膜、あるいはタンゲステン膜などからなる成長阻害膜としてのマスク層 302 を n 型の GaN 層 301 上の全面に形成し、さらに素子を形成する領域に対応してマスク層 302 を除去して六角形状の窓領域 303 を複数形成する。

【0233】続いて、図 83 に示すように、選択成長が行われ、窓領域 303 から結晶成長により結晶成長層である n 型 (Al) GaN 層 304 が形成される。この n 型 (Al) GaN 層 304 はクラッド層としても機能し、略六角錐形状を呈する。傾斜した側面は S 面とされる。

【0234】この傾斜した側面に対してさらに活性層となる InGaIn 層 305 と p 型 (Al) GaN 層 306 を図 84 のように積層する。活性層となる InGaIn 層 305 は結晶成長層である (Al) GaN 層 304 の S

面に沿って成長基板 300 の主面に平行でなく延在され、その活性層の面積 S は、窓領域 303 の面積や結晶成長層の写像面積よりは大きくなり、十分な広がりによって形成される。InGaIn 層 305 上には AlGaIn キャップ層を形成しても良い。p 型 (Al) GaN 層 306 の傾斜した結晶表面が反射面となる。

【0235】次に図 85 に示すように、マスク層上に例えば poly-GaN が成長した場合には余分な部分をエッチングで除去し、マスク層 302 を全部または一部除去して n 側のコンタクト領域 307 を形成する。次いで、蒸着などにより p 電極 309 となる Ni/Pt/Au など、n 電極 308 となる Ti/Al/Pt/Au などコンタクト領域 307 にリフトオフなどにより形成し (図 86)、アロイ化することで基板上における素子が完成する。特に p 電極 309 は反射面として機能する p 型 (Al) GaN 層 306 の上に形成されるため、p 電極 309 自体は反射膜や光遮蔽膜としても機能することになる。

【0236】この後、素子間の分離が必要な場合、基本構造のサイズが前述のように陰に小さいことから、それぞれの分離は困難であるが、素子の基本構造を 1 次元あるいは 2 次元配列した領域をダイシングやへき開などにより分離するだけでもよい。内部の基本構造は各々独立に駆動してもしなくてもよい。また、サファイア上に結晶成長した GaN 結晶は、サファイア/GaN 界面を UV レーザのサファイア側からのアブレーションによりサファイア基板から剥離できるという報告 (APL-75-10, 13 60-2, W. S. Wong etc.) もある。これを利用すればアブレーション前か後にエッチングにより一回目の成長膜 (第 1 導電膜) を分離することで、本発明の基本構造を単一の半導体発光素子とすることができる。

【0237】このように本実施例の半導体発光素子の製造方法では、選択成長により S 面が容易に形成され、その S 面を側面とする結晶成長層に活性層や反射面を形成することで、自己形成的に反射面を形成できる。また出力として取り出される光の一部は選択成長によって形成された傾斜結晶面と平行に延在された反射面で反射したものであり、反射によって光取り出し効率が向上することから、当該半導体発光素子の高輝度化を図ることができる。

## 【0238】実施例 27

図 87 に実施例 27 の半導体発光素子の構造を示す。成長基板 310 上に部分的に第 2 成長層 311 が形成され、それを覆うように第 1 導電層 311、活性層 313、第 2 導電層 319 が形成される。本例ではマスク層と窓領域を有していないが、選択成長により、活性層 313 の面積は結晶成長層の写像面積よりも大きなサイズとなる。従って、有効に輝度飽和を緩和することができ、素子の信頼性を改善できる。

【0239】すなわち、マスク層などの成長阻害膜を用

いない場合でも、エッチングなどにより成長基板や一度成長した結晶膜に凹凸を形成するなどの微細加工により、結晶成長することで同様の安定面を形成でき、同等の効果をえられる。

【0240】なお、本発明においては、窓領域として六角錐を形成するには六角形開口がもっとも望ましいが、円形開口においても最終的には安定面が自己形成されるため、開口形状や境界の方向は任意でかまわない。またウルツ鉱型結晶では、(1-101)面以外にも(11-22)面や(1-100)面などの安定面があり、これらを自己形成した構造についても本発明を適用できる。

【0241】現在赤色LED材料として一般的なAlGaInP系化合物はせん亜鉛型結晶であるが、(001)基板に対して(011)面、(111)面などの安定面があり、適当な条件で成長することにより、その安定面とその上の活性層を形成することは可能である。

【0242】

【発明の効果】本発明の半導体発光素子とその製造方法によれば、基板の主面に対して傾斜した傾斜結晶面を利用することで実効的V/I比を増大させることが出来、混晶構成原子の取り込みも増大し、さらに発光のむらを低減することが出来る。さらに窒素原子の解離を抑えることが出来る。さらに結晶性を向上して点欠陥濃度を低減することが出来る。これにより発光素子に強電流を流した際の輝度の飽和現象を抑えることが出来る。また、基板の主面に対して傾斜した傾斜結晶面を用いることで、多重反射を防止することもでき、発生した光を効率良く素子外部に導くことができる。

【0243】さらに選択成長などを利用し、傾斜した傾斜結晶面(たとえばS面)からなる結晶層を用いて、小さい範囲で微細な素子を作るため、高密度化なども容易であり、ダイシングなどの素子毎の分離も容易である。また、選択成長の安定面の一部は原子スケールで見て平らになっており、輝度のむらもなく、その部分をもちいることで半値幅の狭い発光を得ることが出来る。従って半導体発光ダイオードだけでなくこの面を用いた半導体レーザーも作製することも出来る。

【0244】また、本発明の半導体発光素子においては、出力として取り出される光の一部は選択成長によって形成された傾斜結晶面と平行に延在された反射面で反射したものである点であり、反射によって光取り出し効率が向上することから、当該半導体発光素子の高輝度化を図ることができる。また、反射面の基礎となる傾斜結晶面は選択成長を利用してプロセス上容易に形成されることから、自己形成的に特にエッチングなどの工程を追加しなくとも得ることができる。また、傾斜した結晶面に平行に活性層を延在させることで、活性層の有効面積を大きくとることができ、抵抗低下、発熱低下、信頼性向上が期待でき、また、活性層への単位面積あたりの負

荷を軽減できるため、高輝度化、高信頼性が期待できる。素子サイズを小さくした場合、特に有効である。また、本発明の半導体発光素子においては、活性層と同時に導電層面積や電極とのコンタクト面積を大きくすることができ、結晶層の結晶面が斜面を持つため、光取り出し効率を改善することも可能である。

【0245】さらにまた、本発明の半導体発光素子とその製造方法によれば、第1導電型クラッド層、活性層、及び第2導電型クラッド層の全部または一部が開口部の周囲のマスク層上にまで延在される。このようにマスクを除去しない構造とするため、横方向に成長した部分の下部の支えがなくなることなく、また全部マスク層を残した状態にすれば、選択成長構造の段差が緩和され、レーザ照射などによって基板を剥がした場合でも、マスク層が第1成長層の支持層として機能しながらn電極とp電極を確実に分離して短絡を防止できる。

【0246】また、本発明の半導体発光素子においては、第1導電型クラッド層、活性層、及び第2導電型クラッド層によって、第2成長層の全体が被覆される構造とされ、第1導電型クラッド層、活性層、及び第2導電型クラッド層の各端部が直接マスク層に接する構造にすることができる。したがって、活性層の酸化などの劣化が未然に防止されることになり、さらに発光面積が増大するといった効果も得られる。

【0247】さらに本発明の半導体発光素子においては、選択成長などを利用し、傾斜した傾斜結晶面からなる結晶層を用いて、小さい範囲で微細な素子を作るため、高密度化なども容易であり、ダイシングなどの素子毎の分離も容易である。また、選択成長の安定面の一部は原子スケールで見て平らになっており、輝度のむらもなく、その部分をもちいることで半値幅の狭い発光を得ることが出来る。従って半導体発光ダイオードだけでなくこの面を用いた半導体レーザーも作製することも出来る。

【0248】さらにまた、本発明の半導体発光素子においては、活性層の有効面積を大きくとることができ、抵抗低下、発熱低下、信頼性向上が期待でき、活性層への単位面積あたりの負荷を軽減できるため、高輝度化、高信頼性が期待できる。素子サイズを小さくした場合、特に有効である。また、本発明の半導体発光素子においては、活性層と同時に導電層面積や電極とのコンタクト面積を大きくすることができ、結晶層の結晶面が斜面を持つため、光取り出し効率を改善することも可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例1の半導体発光素子の製造工程におけるマスク形成工程を示す図であって、製造工程断面図(A)と製造工程斜視図(B)である。

【図2】本発明の実施例1の半導体発光素子の製造工程におけるシリコンドープのGaN層の形成工程を示す図であって、製造工程断面図(A)と製造工程斜視図



【図 19】本発明の実施例 3 の半導体発光素子の製造工程における電極の形成工程を示す図であって、製造工程断面図 (A) と製造工程斜視図 (B) である。

【図 37】本発明の実施例 6 の半導体発光素子の変形例の製造工程における透明電極の形成工程を示す図であって、製造工程断面図（A）と製造工程斜視図（B）であ

る。

【図 38】本発明の実施例 6 の半導体発光素子の変形例の断面図である。

【図 39】本発明の実施例 7 の半導体発光素子の製造工程におけるマスク形成工程を示す図であって、製造工程断面図 (A) と製造工程斜視図 (B) である。

【図 40】本発明の実施例 7 の半導体発光素子の製造工程における活性層の形成工程を示す図であって、製造工程断面図 (A) と製造工程斜視図 (B) である。

【図 41】本発明の実施例 7 の半導体発光素子の製造工程における電極の形成工程を示す図であって、製造工程断面図 (A) と製造工程斜視図 (B) である。

【図 42】本発明の実施例 7 の半導体発光素子の断面図である。

【図 43】本発明の実施例 8 の半導体発光素子の製造工程におけるマスク形成工程を示す図であって、製造工程断面図 (A) と製造工程斜視図 (B) である。

【図 44】本発明の実施例 8 の半導体発光素子の製造工程における結晶層の形成工程を示す図であって、製造工程断面図 (A) と製造工程斜視図 (B) である。

【図 45】本発明の実施例 8 の半導体発光素子の製造工程における活性層の形成工程を示す図であって、製造工程断面図 (A) と製造工程斜視図 (B) である。

【図 46】本発明の実施例 8 の半導体発光素子の製造工程における電極の形成工程を示す図であって、製造工程断面図 (A) と製造工程斜視図 (B) である。

【図 47】本発明の実施例 8 の半導体発光素子の製造工程における素子の分離工程を示す図であって、製造工程断面図 (A) と製造工程斜視図 (B) である。

【図 48】本発明の実施例 8 の半導体発光素子の断面図である。

【図 49】本発明の実施例 8 の半導体発光素子の変形例の製造工程における電極形成工程を示す図であって、製造工程断面図 (A) と製造工程斜視図 (B) である。

【図 50】本発明の実施例 8 の半導体発光素子の変形例の断面図である。

【図 51】本発明の実施例 9 の半導体発光素子の製造工程における電極形成工程を示す図であって、製造工程断面図 (A) と製造工程斜視図 (B) である。

【図 52】本発明の実施例 10 の半導体発光素子を用いた装置の部分斜視図である。

【図 53】本発明の実施例 11 の半導体発光素子の構造を示す断面図である。

【図 54】本発明の実施例 11 の半導体発光素子についての窓領域の面積  $W1$  を示すための素子断面図である。

【図 55】本発明の実施例 11 の半導体発光素子についての結晶成長層の写像面積  $W2$  を示すための素子断面図である。

【図 56】本発明の実施例 12 のストライプ状の結晶成長層を形成した半導体発光素子の構造を示す斜視図であ

る。

【図 57】本発明の実施例 13 の長方台状の結晶成長層を形成した半導体発光素子の構造を示す斜視図である。

【図 58】本発明の実施例 14 の四角錐台状の結晶成長層を形成した半導体発光素子の構造を示す斜視図である。

【図 59】本発明の実施例 15 の六角錐状の結晶成長層を形成した半導体発光素子の構造を示す斜視図である。

【図 60】本発明の実施例 16 の六角錐台状の結晶成長層を形成した半導体発光素子の構造を示す斜視図である。

【図 61】本発明の実施例 17 の半導体発光素子の製造工程における下地成長層の形成工程を示す製造工程斜視図である。

【図 62】本発明の実施例 17 の半導体発光素子の製造工程における窓領域の形成工程を示す製造工程斜視図である。

【図 63】本発明の実施例 17 の半導体発光素子の製造工程における結晶成長層の形成工程を示す製造工程斜視図である。

【図 64】本発明の実施例 17 の半導体発光素子の製造工程における第 2 導電層の形成工程を示す製造工程斜視図である。

【図 65】本発明の実施例 17 の半導体発光素子の製造工程におけるコンタクト領域の形成工程を示す製造工程斜視図である。

【図 66】本発明の実施例 17 の半導体発光素子の製造工程における電極の形成工程を示す製造工程斜視図である。

【図 67】本発明の実施例 18 の半導体発光素子の断面図である。

【図 68】本発明の実施例 19 の半導体発光素子の構造を示す断面図である。

【図 69】本発明の実施例 19 の半導体発光素子についての要部断面図である。

【図 70】本発明の実施例の半導体発光素子についての計算の基礎になる結晶成長層のモデルを示す斜視図である。

【図 71】本発明の実施例の半導体発光素子についての計算における角度依存性を計算するためのモデルを示す図である。

【図 72】前記計算の結果としての光取り出し効率の角度依存性を示す図である。

【図 73】本発明の実施例の半導体発光素子についての計算における高さ依存性を計算するためのモデルを示す図である。

【図 74】前記計算の結果としての光取り出し効率の高さ依存性を示す図である。

【図 75】本発明の実施例 20 のストライプ状の結晶成長層を形成した半導体発光素子の構造を示す斜視図であ



る。

【図76】本発明の実施例21の長方台状の結晶成長層を形成した半導体発光素子の構造を示す斜視図である。

【図77】本発明の実施例22の四角錐台状の結晶成長層を形成した半導体発光素子の構造を示す斜視図である。

【図78】本発明の実施例23の六角錐状の結晶成長層を形成した半導体発光素子の構造を示す斜視図である。

【図79】本発明の実施例24の六角錐台状の結晶成長層を形成した半導体発光素子の構造を示す斜視図である。

【図80】本発明の実施例25の六角錐状の結晶成長層と四角錐台状の結晶成長層を形成した半導体発光素子の構造を示す斜視図である。

【図81】本発明の実施例25の半導体発光素子の製造工程における下地成長層の形成工程を示す製造工程斜視図である。

【図82】本発明の実施例25の半導体発光素子の製造工程における窓領域の形成工程を示す製造工程斜視図である。

【図83】本発明の実施例25の半導体発光素子の製造工程における結晶成長層の形成工程を示す製造工程斜視図である。

【図84】本発明の実施例25の半導体発光素子の製造工程における第2導電層の形成工程を示す製造工程斜視図である。

【図85】本発明の実施例25の半導体発光素子の製造工程におけるコンタクト領域の形成工程を示す製造工程斜視図である。

【図86】本発明の実施例25の半導体発光素子の製造工程における電極の形成工程を示す製造工程斜視図である。

\*【図87】本発明の実施例26の半導体発光素子の断面図である。

【図88】半導体発光素子の構造例を示す断面図である。

【図89】半導体発光素子の他の構造例を示す断面図である。

【符号の説明】

10、30、40、50、80、90 サファイヤ基板

14、17、33、44、54、84、94 シリコンドープのGaN層

18、34、45、55、85、95 InGaN層（活性層）

19、35、46、56、86、96 マグネシウムドープのGaN層

20、36、48、58、61、73、87、98、100 n電極

22、37、49、59、62、71、88、99、101 p電極

20 131、150、160、170、180、190、200 成長基板

132、151、161、171、181、191 下地成長層

133 152、162、172、182、192、202 マスク層

134 窓領域

135 結晶成長層

136 活性層

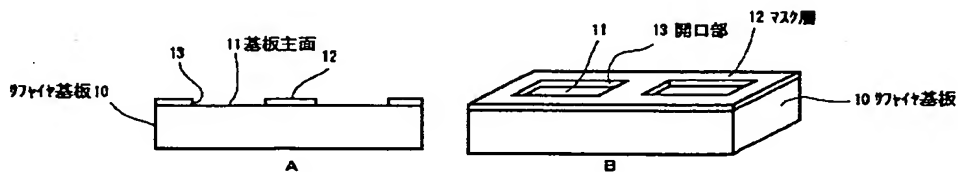
137 第2導電層

138 第1電極

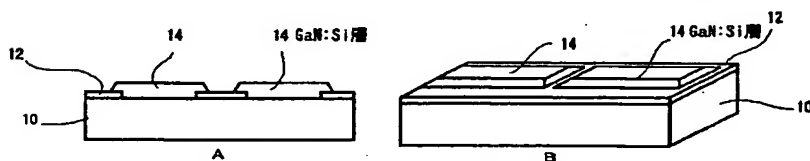
139 第2電極

\* 205 InGaN層（活性層）

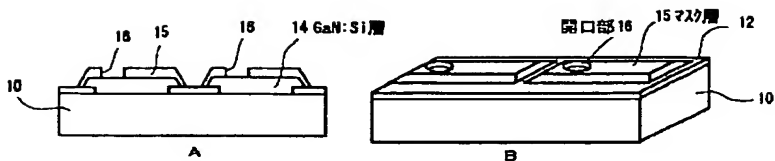
【図1】



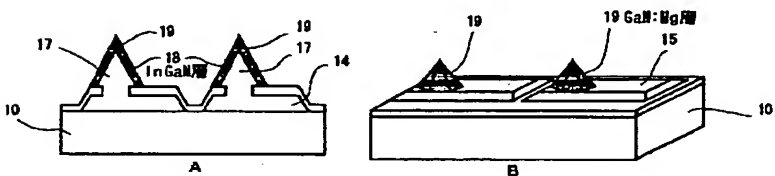
【図2】



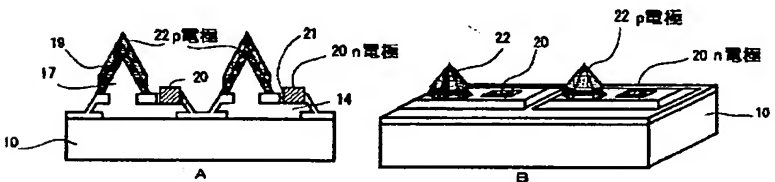
【図 3】



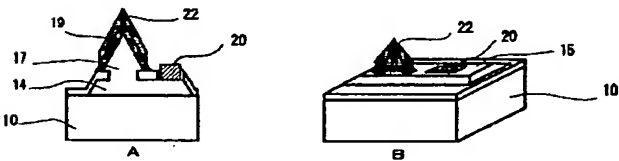
【図 4】



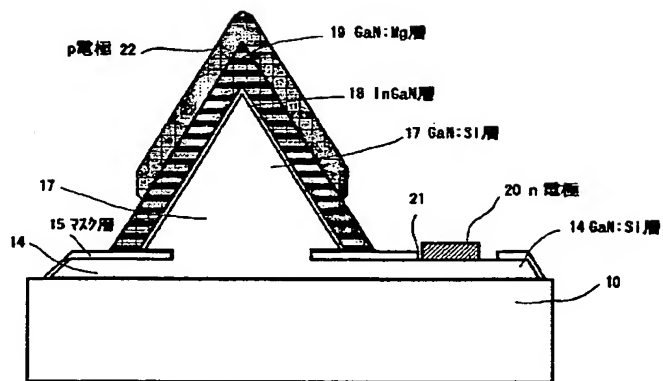
【図 5】



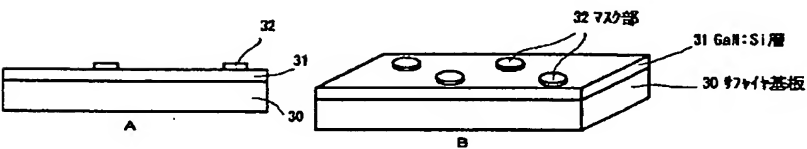
【図 6】



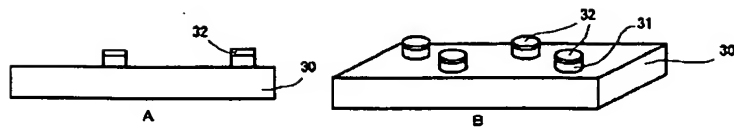
【図 7】



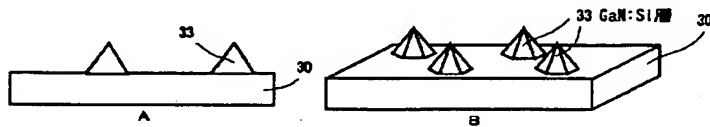
【圖 8】



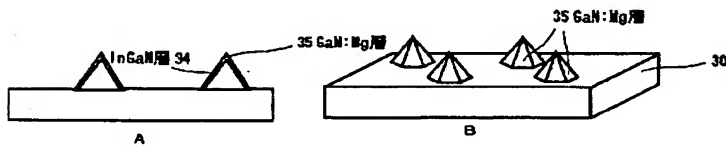
【図9】



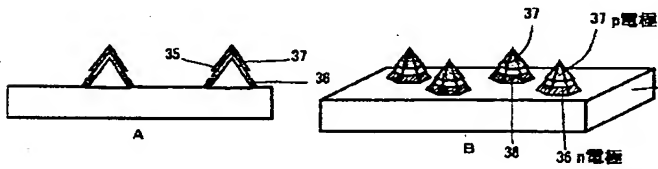
【図10】



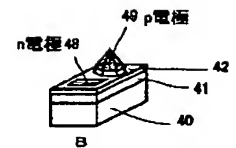
【図11】



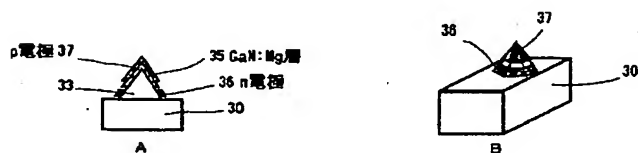
【図12】



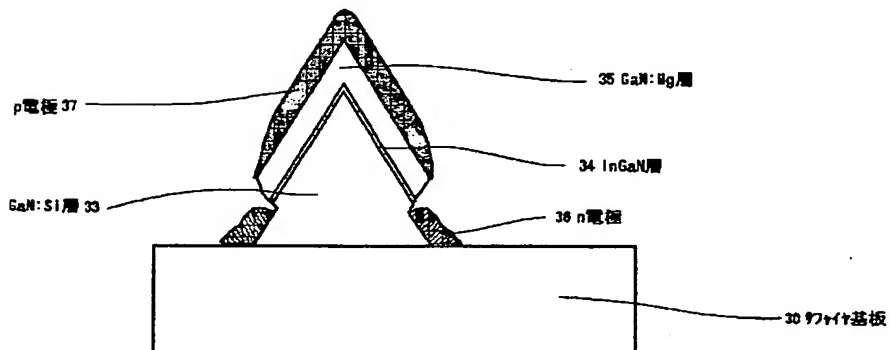
【図20】



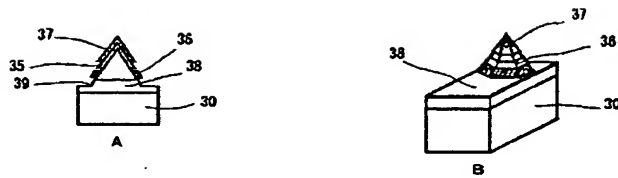
【図13】



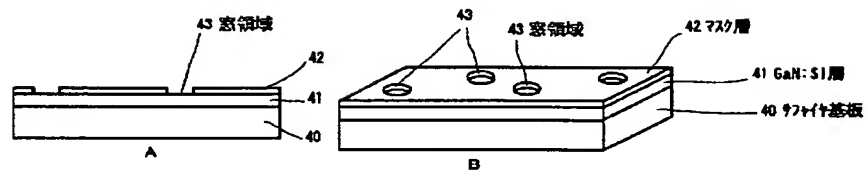
【図14】



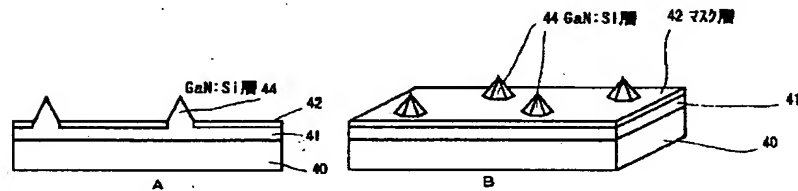
【図15】



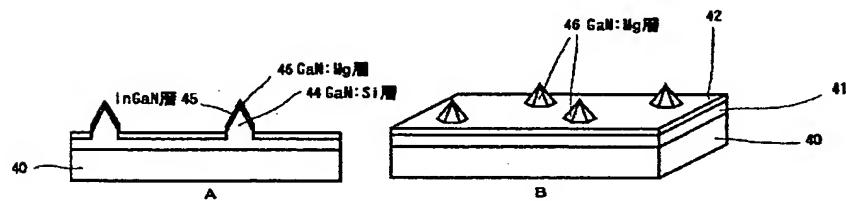
【図16】



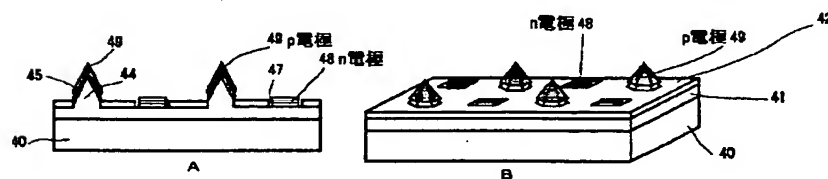
【図17】



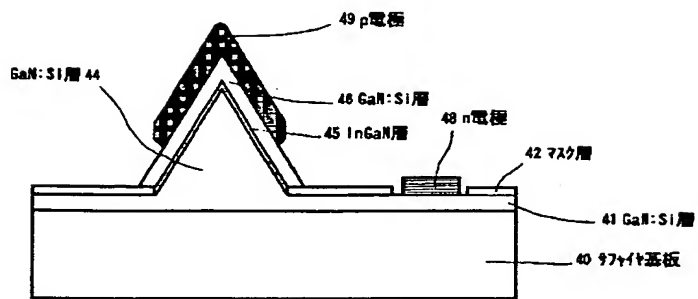
【図18】



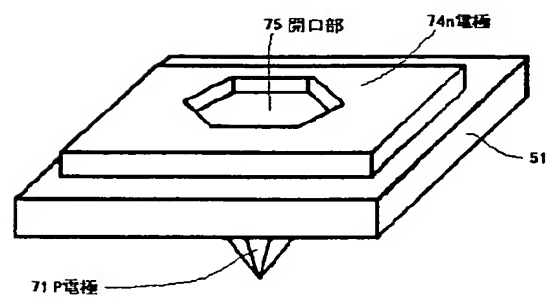
【図19】



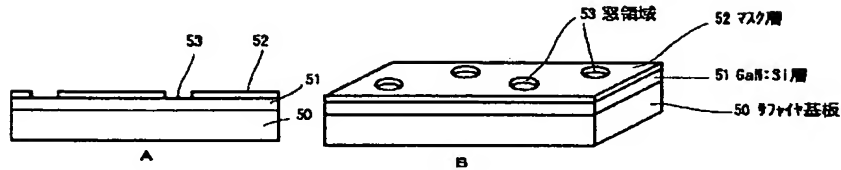
【図21】



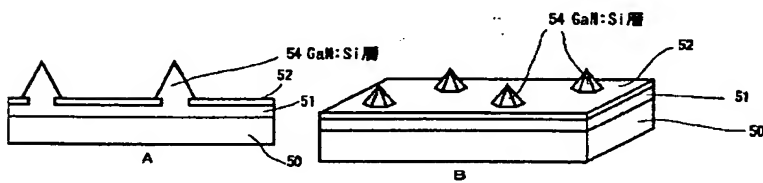
【図36】



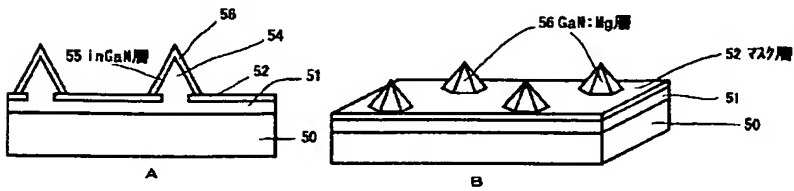
【図22】



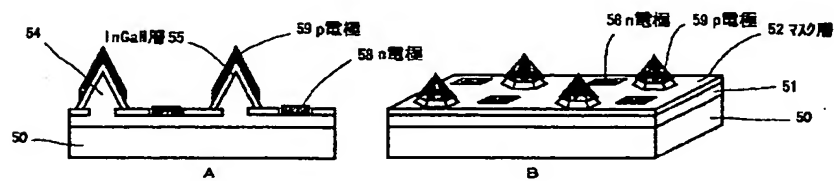
【図23】



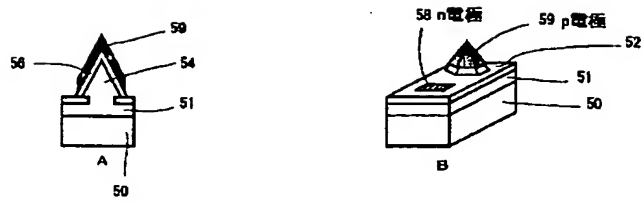
【図24】



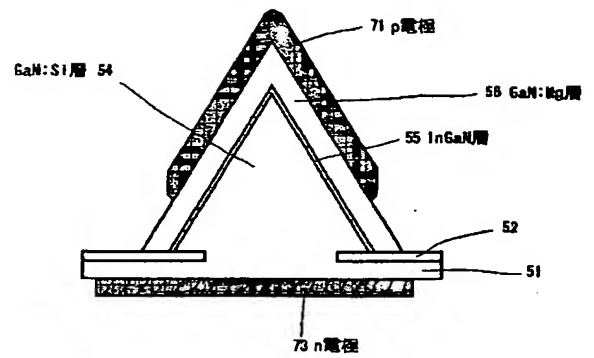
【図25】



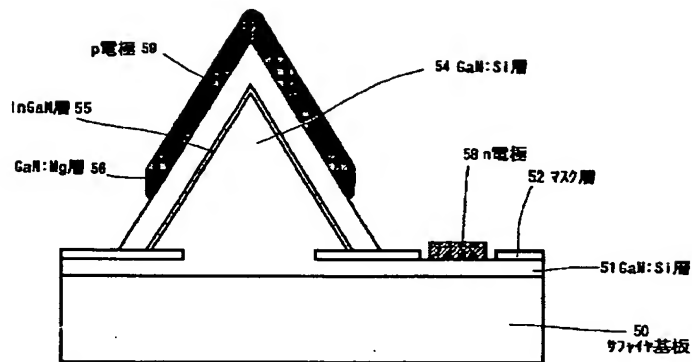
【図26】



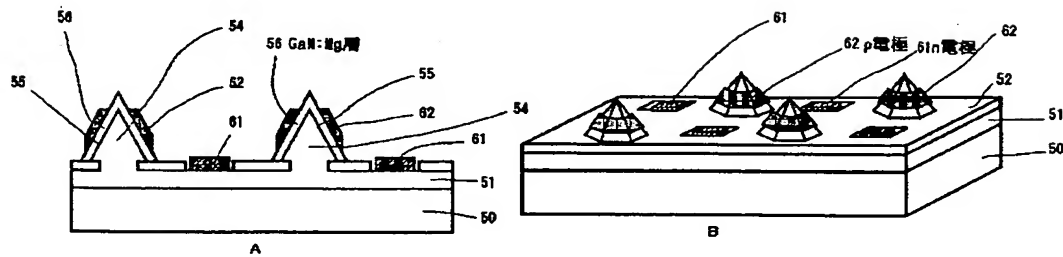
【図35】



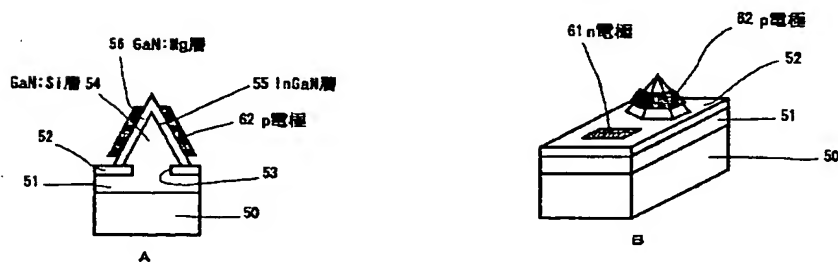
【図27】



【図28】

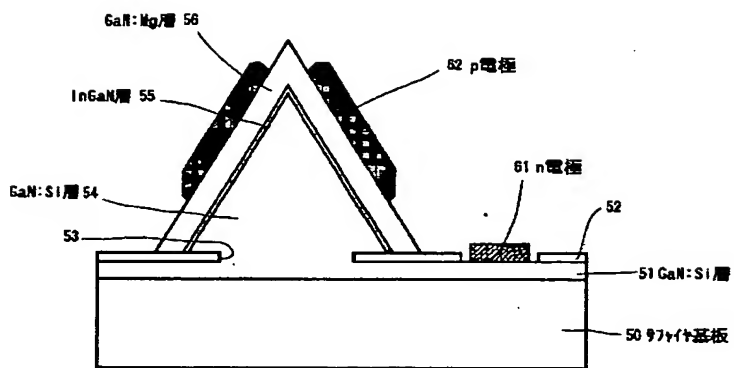


【図29】

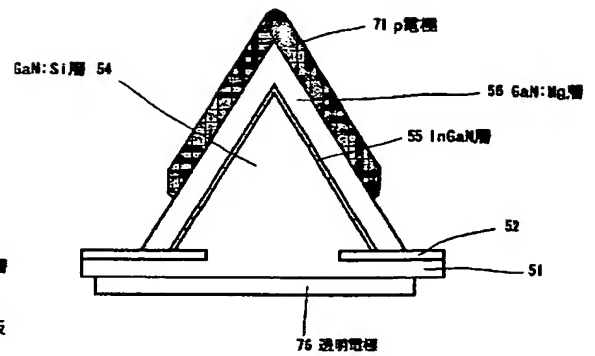




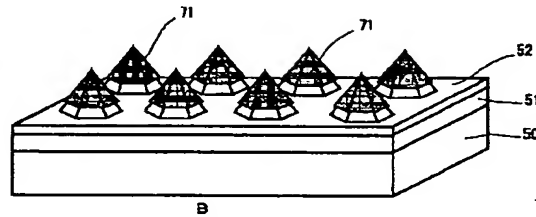
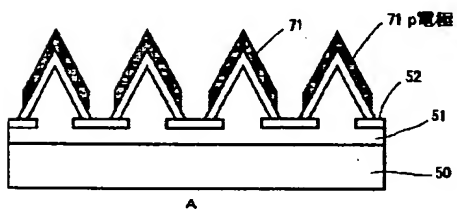
【図30】



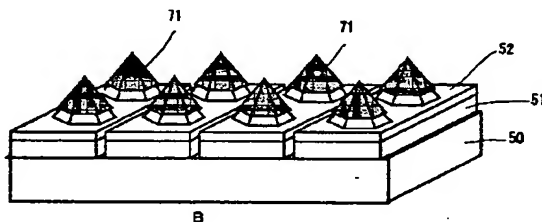
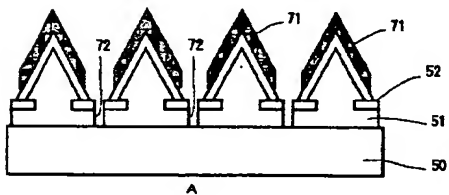
【図38】



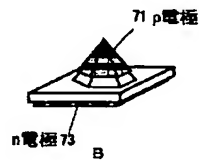
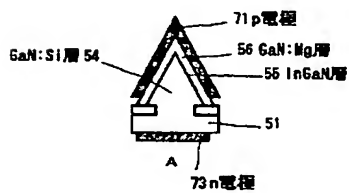
【図31】



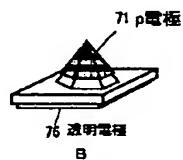
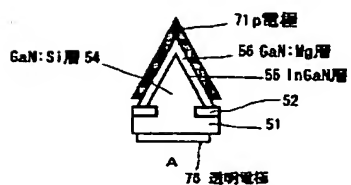
【図32】



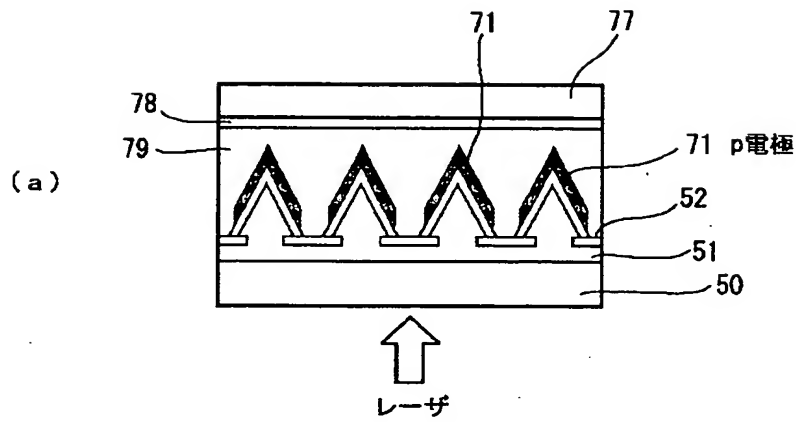
【図33】



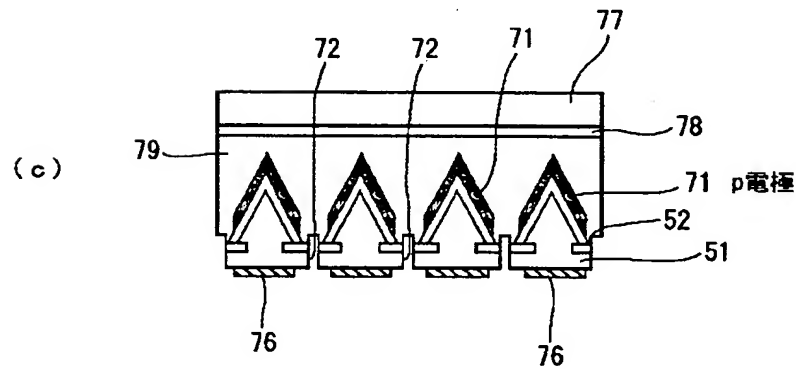
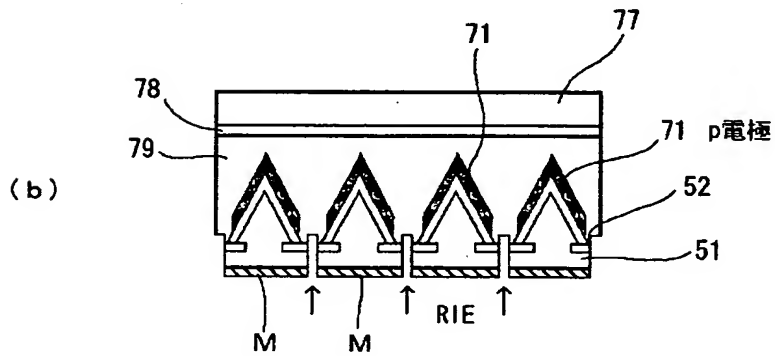
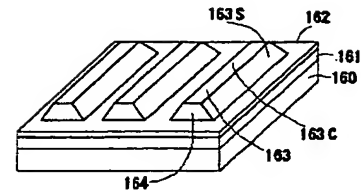
【図37】



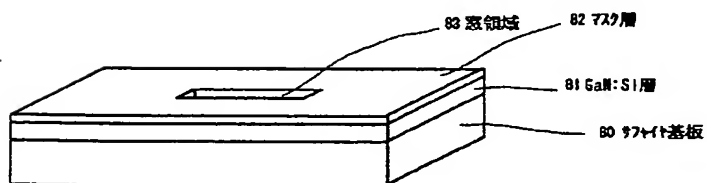
【図34】



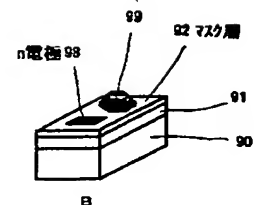
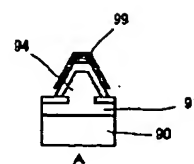
【図57】



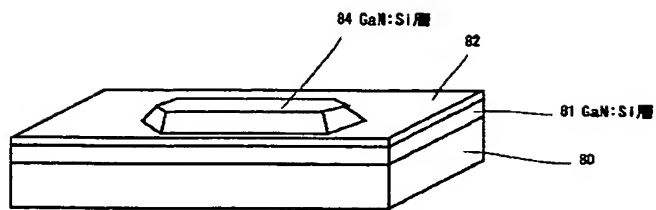
【図39】



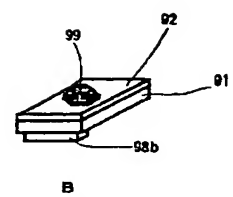
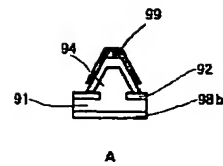
【図47】



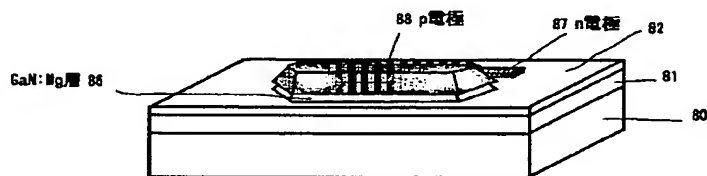
【図40】



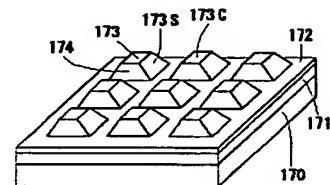
【図49】



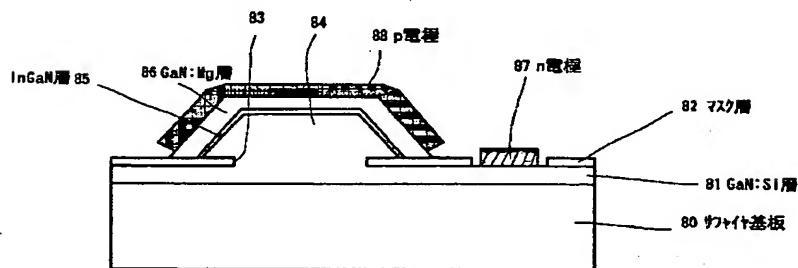
【図41】



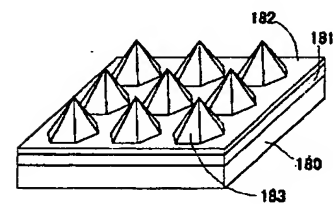
【図58】



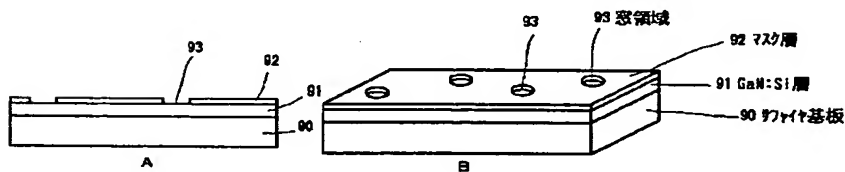
【図42】



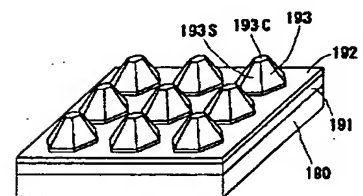
【図59】



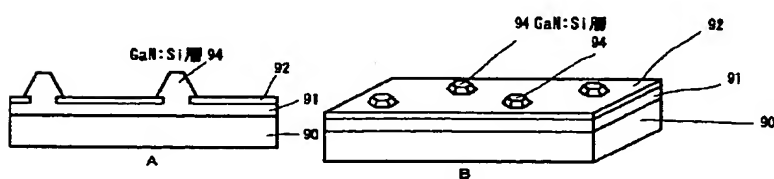
【図43】



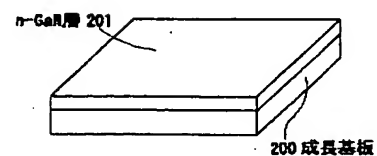
【図60】



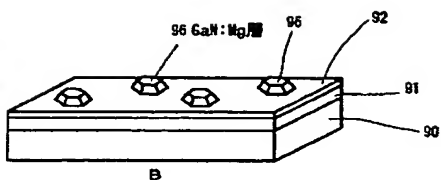
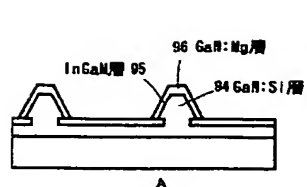
【図44】



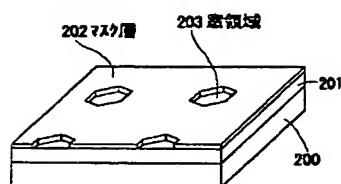
【図61】



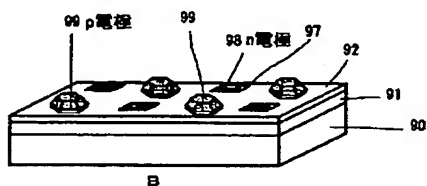
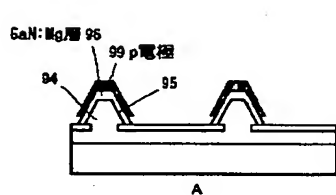
【図45】



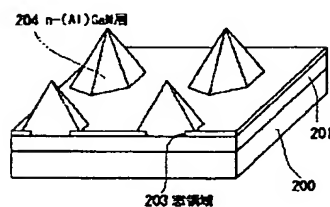
【図62】



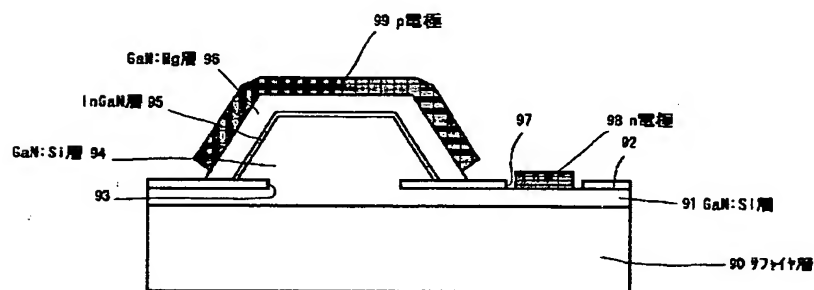
【図46】



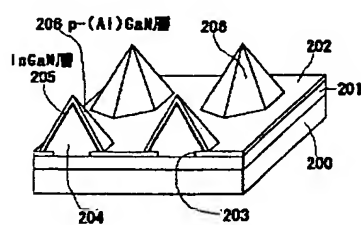
【図63】



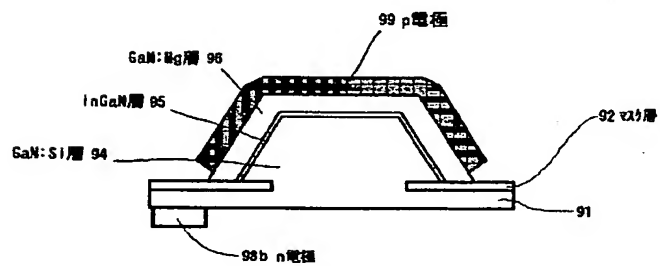
【図48】



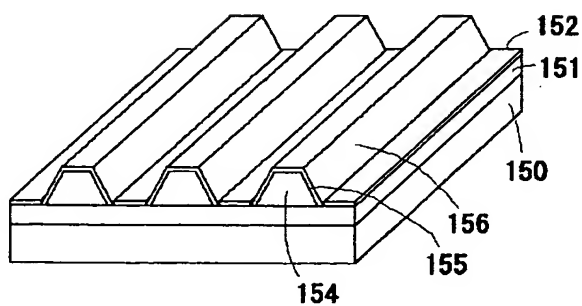
【図64】



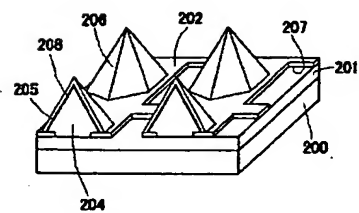
【図50】



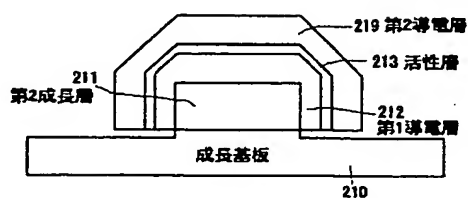
【図56】



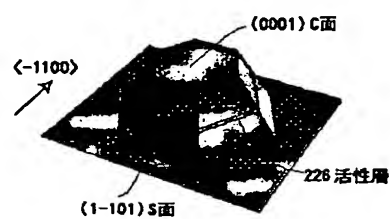
【図65】



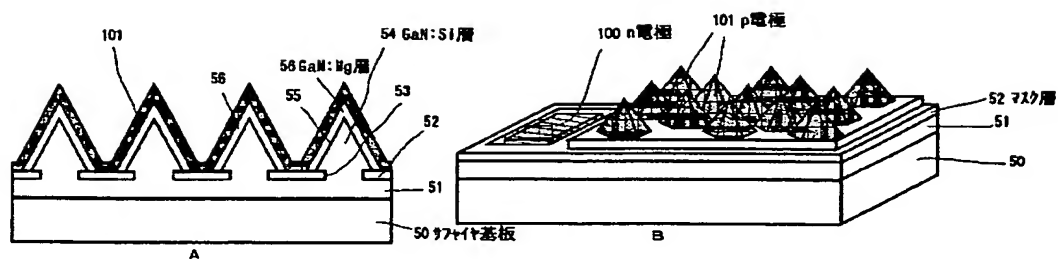
【図67】



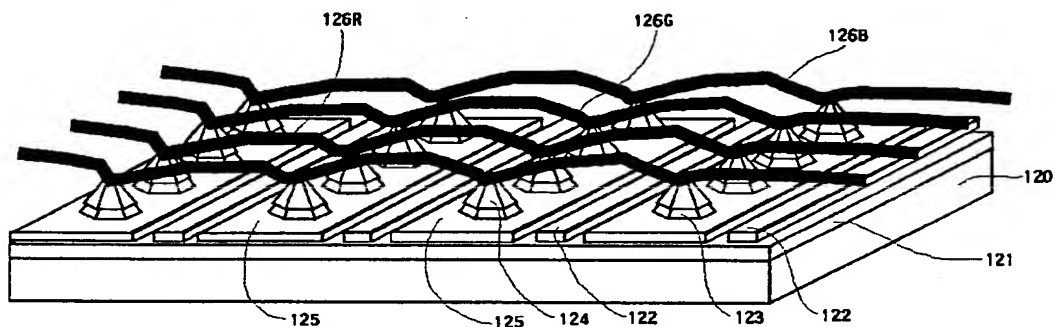
【図70】



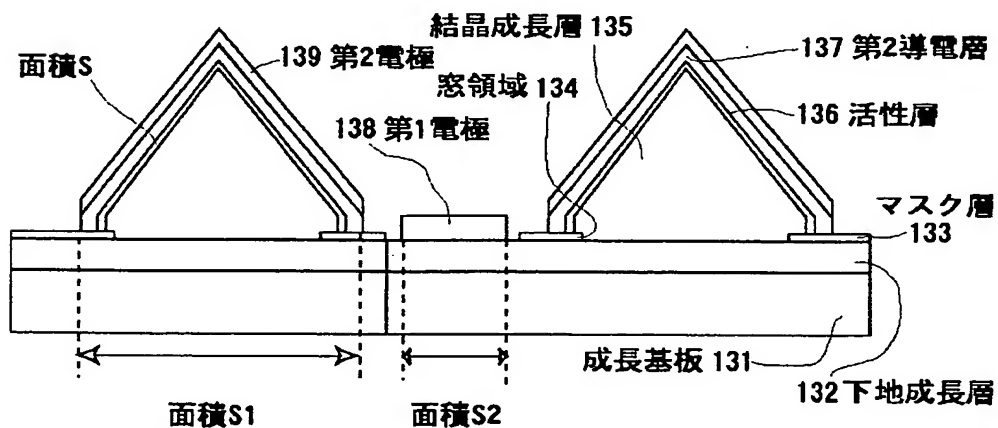
【図51】



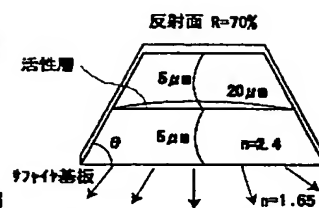
【図52】



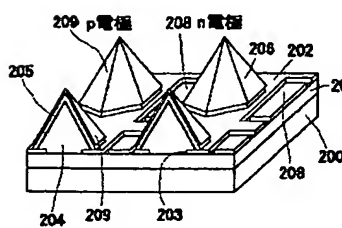
【図53】



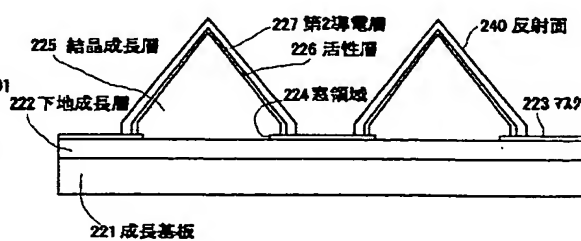
【図71】



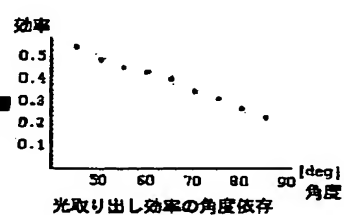
【図66】



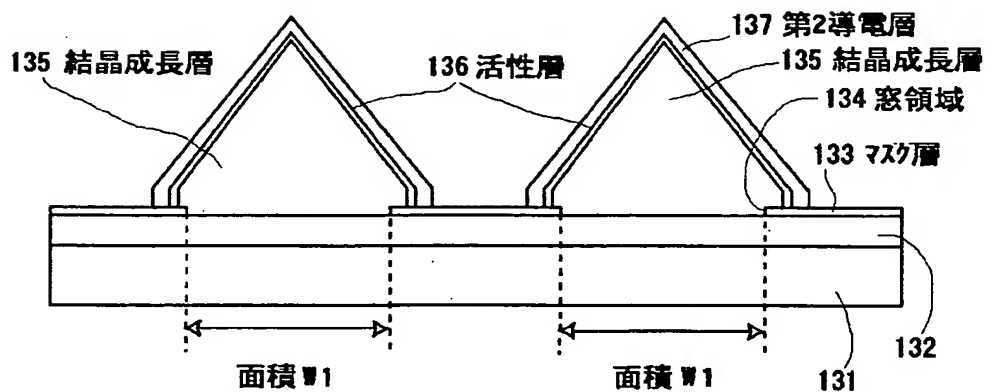
【図68】



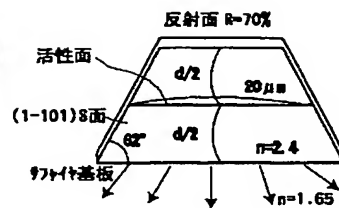
【図72】



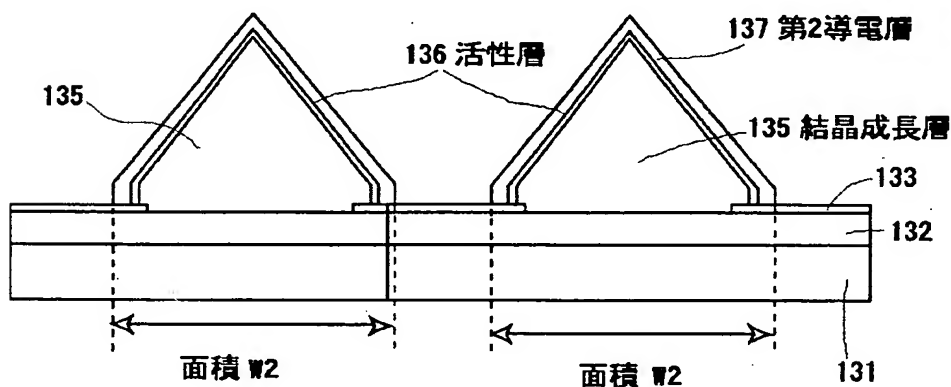
【図54】



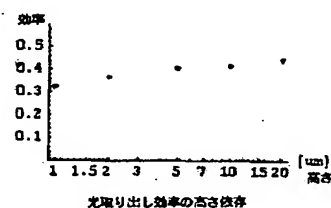
【図73】



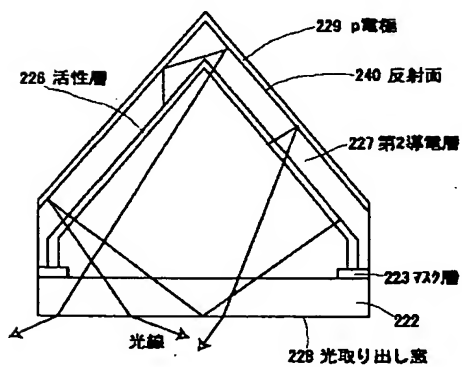
【図55】



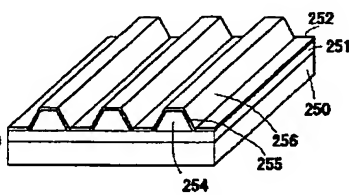
【図74】



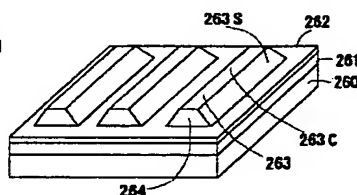
【図69】



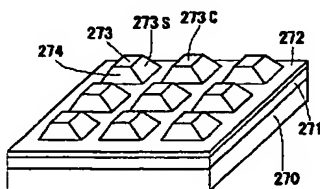
【図75】



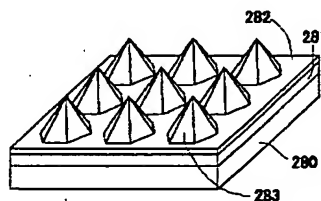
【図76】



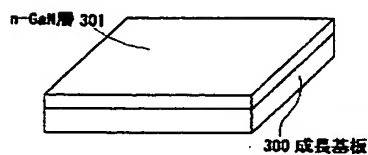
【図77】



【図78】

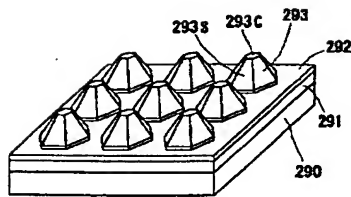


【図81】

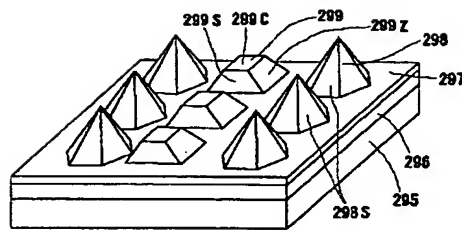




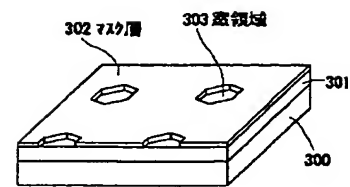
【図79】



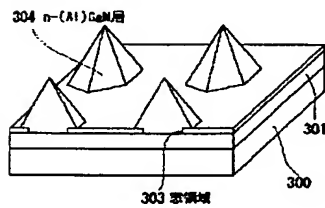
【図80】



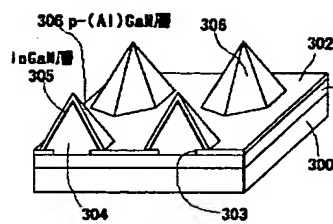
【図82】



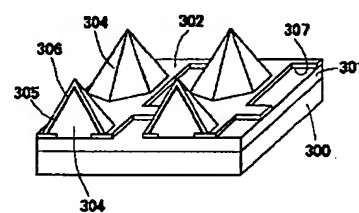
【図83】



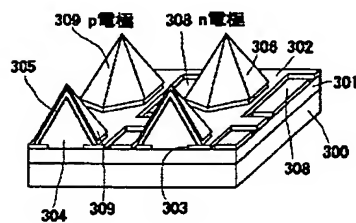
【図84】



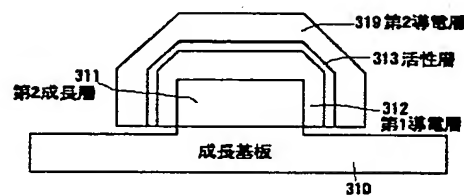
【図85】



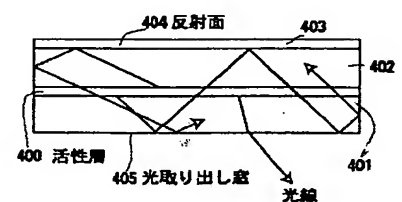
【図86】



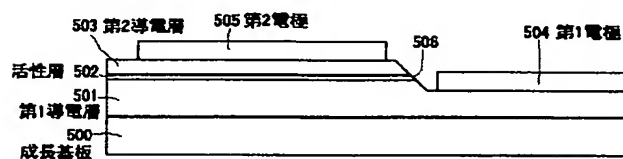
【図87】



【図88】



【図89】



フロントページの続き

(31) 優先権主張番号 特願2000-217799(P2000-217799)  
 (32) 優先日 平成12年7月18日(2000. 7. 18)  
 (33) 優先権主張国 日本(JP)  
 (31) 優先権主張番号 特願2000-218101(P2000-218101)  
 (32) 優先日 平成12年7月18日(2000. 7. 18)  
 (33) 優先権主張国 日本(JP)  
 (72) 発明者 琵琶 剛志  
 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ  
 ー株式会社内

(72) 発明者 大畑 豊治  
 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ  
 ー株式会社内  
 (72) 発明者 菊谷 友志  
 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ  
 ー株式会社内

Fターム(参考) 5F041 AA40 CA03 CA23 CA34 CA40  
CA65 CA77 CA93 CB15  
5F045 AA04 AB09 AB14 AB17 AB32  
AB33 AC08 AC09 AC12 AC19  
AD09 AD11 AD12 AD14 AF02  
AF03 AF04 AF05 AF06 AF09  
AF13 AF20 BB12 CA10 DA53  
DA55 DA58 DB01 HA16 HA18  
HA19

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**